

1. 地中障害物混在地盤に対する複合相対攪拌工法の適用事例

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 ○ 高倉 功樹

1. はじめに

近年、地盤改良工法に対する需要が拡大し、改良対象が砂・粘土等の軟弱地盤に限らず、障害物が混在する地盤への適用事例が増大している。

複合相対攪拌工法は、3種類の攪拌翼を相対反転させて固化材スラリーと地盤土を攪拌混合し、所要の強度を発現させる深層混合処理工法の一つである。

従来の機種と比べ、高いトルク性能と特殊な翼形状により、コンクリートガラ・転石が混在する地盤に対しても多くの改良実績を有している。

本文では、複合相対攪拌工法の概要を紹介すると共に、旧建築物の基礎杭や圧密促進のため打設された鉛直ドレーン材が残置された地盤あるいは大量の転石が混在する地盤を対象にした施工事例について報告する。

2. 複合相対攪拌工法の概要と特徴

複合相対攪拌工法の攪拌翼構造と回転方向を図-1に示す。同図より、攪拌翼は、台形状の外翼(A)3枚、中翼(B)・芯翼(C)各2枚と先端に装着された削孔ヘッド(D)により構成されている。

削孔ヘッド(D)と中翼(B)は右方向に正回転し、外翼(A)と水平版状の芯翼(C)がこれと逆回転して地盤土をかき解しながら籠状の翼内に取り込み、各翼体の相反作用によってセメントスラリーを効率高く原土に練り込む¹⁾。

同時に攪拌翼の回転作動により「共回り」、「連れ回り」現象が抑制できる特徴を有している²⁾。

また、固化材スラリーの吐出位置が先端吐出口と中翼鉛直部の2箇所に設けられていることも、固化材の練り込みを効果的にし、安定した改良体品質をもたらす要因となっている。

さらに、本工法の回転駆動装置は、低速回転ながら従来のそれと比較して4~5倍もの掘削トルク性能を有している。

これと回転軸に装着されている攪拌翼の剛性の高さが、強力な削孔能力を発揮させ、N値=40~50の砂礫層や玉石まじり層を削孔・攪拌することを可能にしている¹⁾。

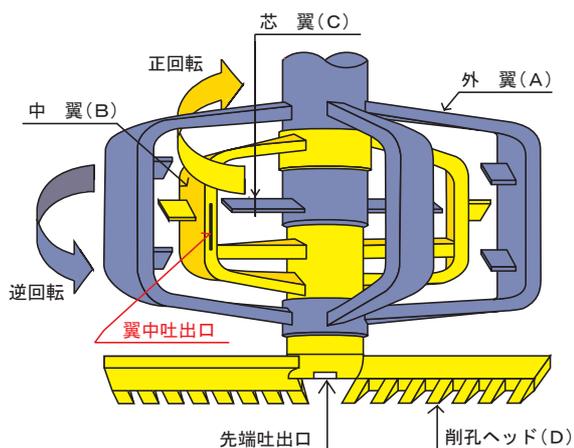


図-1 複合相対攪拌翼 模擬図

3. 地中障害物混在地盤における改良施工事例

3.1 既設杭が残置された地盤の改良例

(1) 工事概要

本工事は建築物を解体後、同箇所に複合商業施設を建設するものであり、その基礎として深層混合処理工法（改良径 ϕ 1.8m、 l ≒13m）が計画された。改良対象地盤はGL-1.3mまでガラ主体の埋土、その下層に軟弱な砂、シルトが互層し、GL-8.5mからN値5~20程度、層厚3.8mの礫まじり砂層が続く。その下にシルト層が層厚1.1mで狭在し、GL-13.4m以深からN値>20~40の礫まじり砂層に連なる。この地盤中に直径 ϕ 0.45mのPHC杭、直径 ϕ 0.3mのPC杭・RC杭がおよそ13mの長さで残置されていた。

(2) 従来技術による施工方法

一般に、杭が残置された地盤で改良工事を行なう場合は、予め残置杭の頭出しを行い、オールケーシング工法で障害となる杭を除去し、その後、深層混合処理工法によって改良体を造成する³⁾。このため、通常の施工に比べ、残置杭を除去する前処理工程の時間と経費が必須となる⁴⁾。

さらに、旧構造物基礎の杭配置が不明な場合、上記に加えて杭配置の確認作業が必要になる。また、杭を除去した後も地盤改良中に未確認の杭に遭遇することは、しばしば経験するところである。このような場合、1)改めて杭を除去するか、2)設

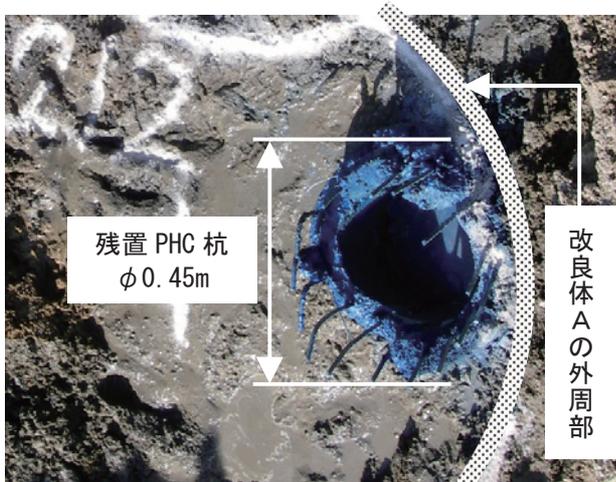


写真-1 確認された残置杭と改良予定範囲

計条件を満たす範囲で改良体位置の変更あるいは3)改良体を増打ちによって対処しなければならず、大幅な施工工程の変更が発生する。

(3)施工結果と改良品質

本事例における複合相対攪拌工法による改良断面と典型的な残置杭位置関係ならびに施工仕様を表-1に示す。表中の改良体Aは、残置された杭種と位置関係から最も厳しい施工条件である。写真-1は、残置杭について頭出しを行ない、これと改良範囲の相対的位置関係を示す。写真の中央やや右に残置杭のPC鋼線が複数認められる。

図-2は、残置杭を含む3つの改良体A~Cと残置杭を含まない改良体Dの造成に伴う駆動モータの電流値を比較した結果である。

同図より、地盤上部が不均一なコンクリートガラ主体の埋土であるため、この影響により攪拌翼が完全に通過するGL-3.0m付近まで、残置杭の有無に関係なく、比較的大きな電流値変動が生じている。

GL-4.0m以深は軟弱な砂層、シルト層であるため、どの改良体も200A程度の電流値となる。礫混じり砂層となるGL-9.0m以深から漸次300A程度まで増大し、所定の深度近傍では約500Aとなった。これより、上層部の電流値を除くと、残置杭の有無による差異は認められない。また、改良体A~Cの電流値比較からも、杭径・杭種の違いによる破碎抵抗に特段の違いはないと考えられ、本工法は残置杭が混在する地盤であっても、通常施工と同等の施工性を保持していることが判明した。

写真-2は改良体Aについて改良体の天端まで掘削し、出来形の確認を行ったものである。改良体全断面に亘り、大きさ10~50mm程度の残置杭破砕片が均一に分散していることがわかる。

写真-3は、改良体Aについてオールコアボーリングを実施し、採取したコアの状況である。コアの表面に残置杭の破砕片が散在している。

コアの採取率としては97%以上となり、非常に高い連続性を確保しており、残置杭の破砕片を混

表-1 施工仕様と残置杭位置

番号	改良体A	改良体B	改良体C	改良体D
形状				
改良径(m)	φ1.80	φ1.80	φ1.80	φ1.80
残置杭(m)	PHC杭: φ0.45	PHC杭: φ0.30	RC杭: φ0.30	なし
施工長(m)	15.50	13.02	12.90	15.50
空堀長(m)	1.45	1.45	1.45	1.45
改良長(m)	14.05	11.57	11.45	14.05

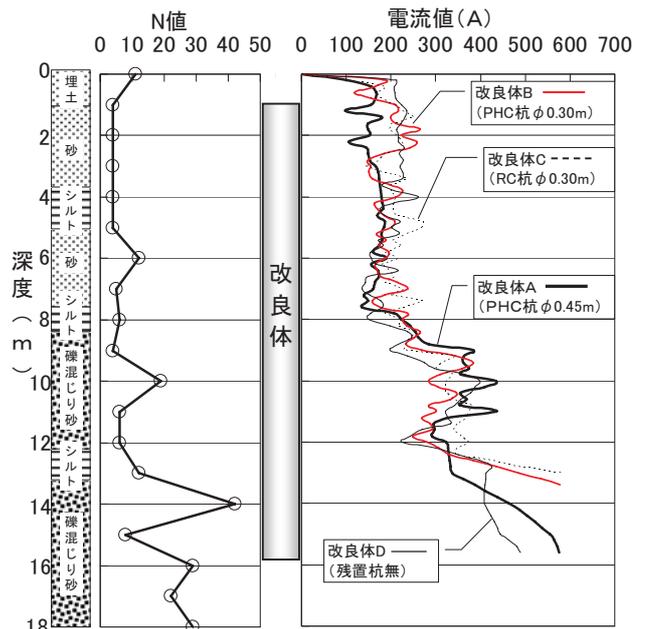


図-2 電流値比較



写真-2 出来形状況(改良体A)

入してもコアの欠損部がなく、破砕片と改良体が一体化された良好なコアであると言える。

また、一軸圧縮強度試験の結果、コアの平均強度は $qu=8,018\text{kN/m}^2$ となり、変動係数は $Vd=18.45\%$ となった。同一施工区域内の通常施工の改良体Dの変動係数は $Vd=19.85\%$ となっており、いずれの変動係数も同程度でばらつきに大きな差がないことが確認された。

この結果より、コアの一軸圧縮強度においても

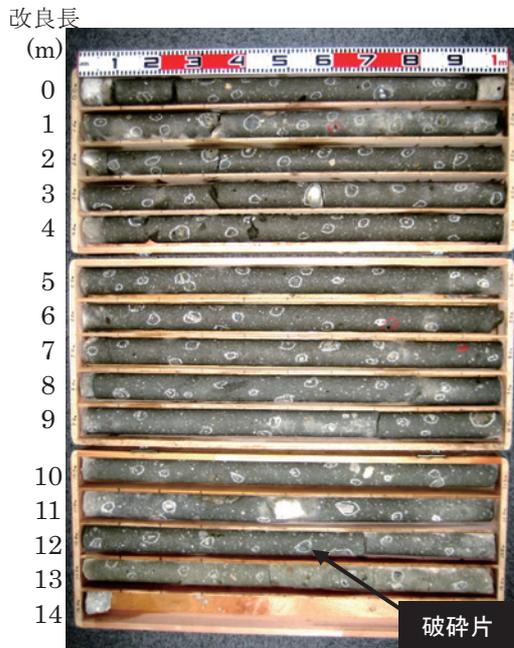


写真-3 オールコアボーリング採取状況

残置 PHC 杭(φ0.45m)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。

3.2 鉛直ドレーン材が残置された地盤の改良例

(1) 工事概要

鉛直ドレーン材が打設された地盤を道路用地として転用するのに伴い、同地盤を深層混合処理工法で改良することが計画された。図-3 はドレーン材と新たに計画した改良体の位置関係を示している。ドレーン材の間隔は1.0mであり、改良体は中心間隔が3.0mで、改良径φ2.0mであることから、最少で2本、最大で6本のドレーン材が改良体造成の妨げになることがわかる。

(2) 従来技術による施工方法

通常の深層混合処理工法では、水平板状の攪拌翼を一方に回転させ、羽根切り作動を地盤に与えて原土と固化材を攪拌混合させる。その際、ドレーン材が残置された地盤では、ドレーン材が翼体に巻き付き、羽根切り作動の効率を低下させ、原土と固化材の攪拌混合を著しく阻害する。また、一方向回転の機械攪拌工法では、巻付いたドレーン材と翼体とが一体化して「共回り」現象が生じる。結果として改良体の品質不良につながる。

(3) 施工結果と改良品質

写真-4 は、本工法による改良後、攪拌翼に巻き付いたドレーン材を示す。3種類の攪拌翼が相対回転するため、ドレーン材を破断し翼体に多量に巻きつくことは認められなかった。そのため、「共回り」を未然に防ぐことができた。

また、ボーリングにより採取した計27個の試料について一軸圧縮試験を行い、改良体の品質を調

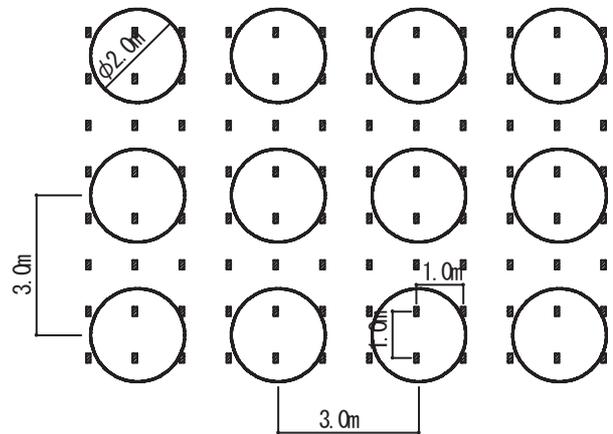


図-3 改良体とドレーン材配置

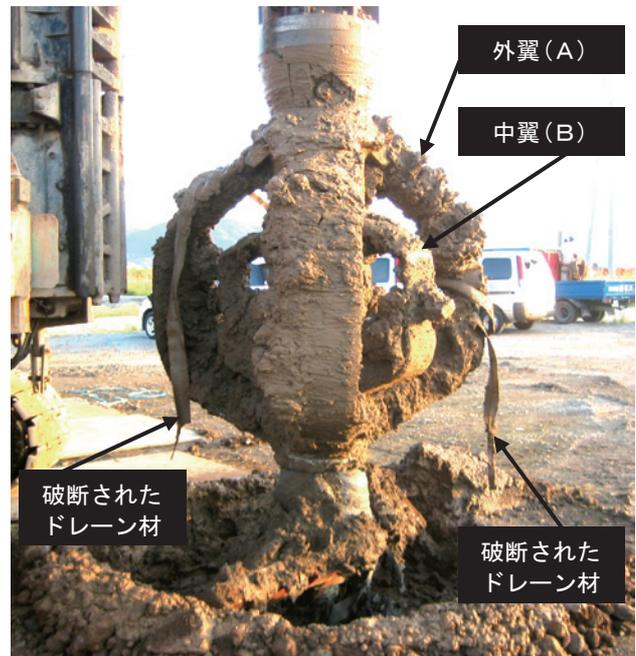


写真-4 ドレーン材破断状況

査した。その結果、現場平均改良強さ $q_u = 3,797 \text{ kN/m}^2$ 、変動係数 $V_d = 21.9\%$ が得られた。品質を見極める目安となる変動係数 $V_d = 25\%$ に較べて若干小さく、ドレーン材が残置された地盤に対する本工法の改良品質の高さが確認できた。

3.3 転石が多量に混在する地盤の改良例

(1) 工事概要

道路拡幅用に補強土壁を構築し、これを安定させるために深層混合処理工法が計画された。地盤は、図-4 に示すように施工基面から深さ5mが崖錘堆積層(玉石まじり粘土質砂礫層, N 値=10~45)、その下に軟弱な火山灰質粘土、砂質シルト、砂礫、粘土質砂、礫まじり砂が傾斜する花崗岩上に成層している。崖錘堆積層には、直径約0.4~0.5mもの風化花崗岩の転石が多量に混在し、礫含有率は60~70%と推定された。また、地盤内の地下水位が施工基面から約GL-3mの位置にあり、且つ施工ヤード幅が12mしかなく、制約の大きな条件下での工事であった。

補強土壁を支える改良体の直径は $\phi 1.6\text{m}$ で、ラップ施工させながら、支持層である花崗岩の傾斜に沿って階段状に根入れさせた。平均長さ $l=6.7\text{m}$ であり、改良本数 $N=137$ 本である。

(2)従来技術による施工方法

通常、転石が多量に存在する地盤では、バックホウによる全面開削工法か、またはオールケーシング工法による置き換えが行なわれる。しかし、前者の場合には、地下水位条件より土留め・止水壁等の仮設工事が必要になり、しかも狭隘な条件がその施工の妨げになる。一方、後者は高いコストを覚悟する必要がある。また、何れの工法を選択しても、掘削により施工基面が乱され、処理機のトラフィカビリティを確保するため、別途表層改良が必要となる。その他、改良体を1本1本打設するごとにバックホウにより簡易的に転石除去を行なう場合も考えられるが、前述の通り対象層厚と地下水位の条件から完全除去は困難である。

さらに、改良体配置がラップ施工であるため、転石除去作業によって隣接する改良体へ悪影響を及ぼすことも考えられる。

(3)施工結果と改良品質

写真-5は、複合相対攪拌工法による転石混在層の貫入攪拌状況である。

本工法の高トルク型の回転駆動機と高剛性の外翼と中翼の相対回転作動によって、一部の転石を破碎しながら貫入攪拌が行なわれる。また、同写真より転石を破碎する際の粉塵も見て取れる。写真-6は、オールコアボーリングを実施し、採取したコアの一部である。白っぽく見える部分が転石であり、改良体の内部に一体化されていることがわかる。改良品質として、現場平均改良強さは $qu=2,508\text{kN/m}^2$ 、変動係数は $Vd=24.2\%$ となった。転石混在層での施工においても、ばらつきは少なく、改良品質が安定していることがわかる。

4. まとめ

本文では、低速回転・高トルク型の複合相対攪拌工法を用いて、3種類の異なる地中障害物混在地盤を対象に攪拌改良を行い、その施工性と改良品質について精査した。その結果、

- 1) 本工法では、補助工法を何ら使用する事無く、目的とする改良施工を達成することが出来た。
- 2) 本工法に抛る改良体の変動係数は25%以下であり、特殊な地盤条件下であっても、安定した改良品質を確保していることが確認された。

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「エココラム工法（エココラム-Loto工法；大口径 $\phi 2,500$ 地盤改良工法）」、pp.5～11, 2006
- 2) 鈴木孝一・齋藤邦夫・原満生・佐藤篤哉・高倉功樹・古

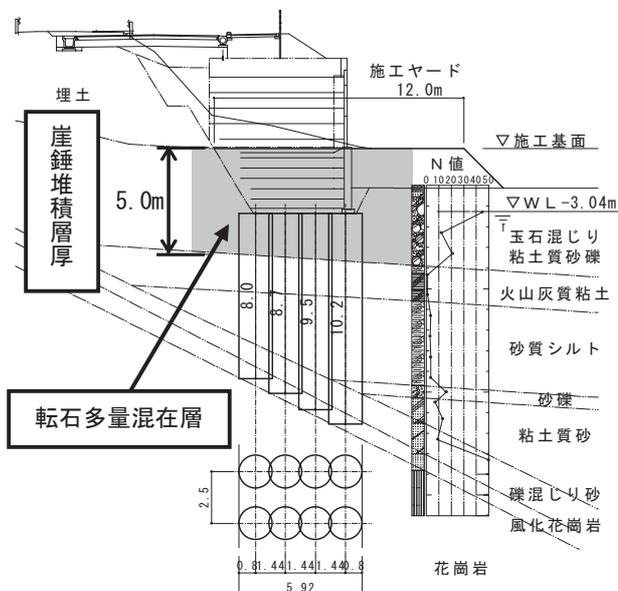


図-4 標準断面図(単位 ; m)



写真-5 転石混在層攪拌状況

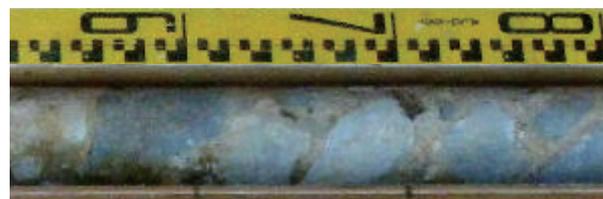


写真-6 コア採取転石混入状況

澤政夫・蓮香朋宏：複合相対攪拌翼を用いた深層混合処理工法の改良原理と適用事例，材料，第59巻・第1号，pp.32～37, 2010.2

- 3) 齋藤邦夫・鈴木孝一・原満生・高倉功樹：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，平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム，pp.147～150, 2008.11
- 4) 鈴木孝一・立石光一・原満生・高倉功樹：エココラム-Loto工法(大口径深層混合処理工法)の概要と適用事例，第7回土質基礎に関する「新工法・新技術」技術報告会，北海道土木技術会，pp.1～8, 2009.1