

地中拡翼型の地盤攪拌改良工法 ～攪拌装置を用いた地層判定～

大成建設(株) 正会員 ○ 小林 真貴子 藤原 斉郁 石井 裕泰
青木 智幸 立石 洋二
日特建設(株) 正会員 菅 浩一 三上 登 佐藤 潤

1. はじめに

既設構造物周辺や直下での地盤改良のニーズが高まる中、著者らは、新たな機械攪拌方式の原位置攪拌改良工法として、地中拡翼型の攪拌装置を用いた工法（WinBLADE 工法）の開発にあたっている¹⁾。本工法では、ロッド先端部に装着した攪拌翼を閉じた状態で地中に挿入し、改良範囲端部で拡翼した後、セメントミルクを供給しながら原位置攪拌を行い、引き上げ方向に改良体を造成する。本報では、工法の概要および改良体造成時の攪拌翼の回転トルク抵抗に基づく地層判定の可能性についてまとめる。



図-1 施工試験の概要

2. 施工方法²⁾

図-1 に施工方法の概要を示す。まず、造成体下端位置まで、先行削孔したケーシングを通して、閉じた状態の攪拌装置を地中に挿入する。改良範囲の端部で攪拌翼を開き、セメントミルクを供給しながら攪拌翼を回転させ、ロッドを移動させる。長さ 2m のロッドを使用するため、1 リフト 2m で引き上げ、押し下げ、引き上げの 3 パス施工を行い、最後にケーシングを通して攪拌装置を地上で回収する。施工にあたっては、造成体の延長あたりのセメントミルク供給量のばらつきを低減させるように、モニタリング・制御システム³⁾を併用した。

3. 地層判定にあたっての計測

地層判定の評価にあたり、沖積砂層、浚渫粘土・砂質土層からなる図-2(a)の地盤において、回転速度は 40rpm、フィード速度は 0.5m/min を計画仕様として、4 リフト、長さ 8m の造成を行った。地層判定を行うにあたり、原地盤を直接攪拌する各リフト 1 パス目の回転速度、フィード速度、トルクを抽出し、図-2(b), (c), (d)に深度方向分布としてまとめた。ここで、回転速度、フィード速度は装置に取り付けた計器により直接測定し、トルクについては回転制御の油圧を計測し、事前のキャリブレーションに基づく次式により算出した。

$$\text{トルク}(kN \cdot m) = 0.2044 \times \text{回転油圧}(MPa) \quad \dots \text{式(1)}$$

これらによれば、沖積砂層(As)に該当する約 G.L.-7.0m 以深では回転速度 40rpm が維持され、トルクおよびフィード速度もほぼ一定値を示した。一方、浚渫粘土層(Fc₂)との層境に近づくにつれて各計測値が変動し、それ以後の浚渫砂層と浚渫粘土層では安定と変動を繰り返す結果となった。事後の掘り起こし調査の際には、浚渫層内に植生跡、木片等の異物が多数見られた。これらが、こうした不規則な動作を引き起こす要因になったものと考えられる。

回転打撃式ドリルを用いて地盤評価を行った過去の検討事例(打撃なしの場合)⁴⁾の計測結果と比較すると、回転速度およびフィード速度の差は最大で3倍程度に対し、トルクについては本工法の結果が同じN値に対して平均で130倍大きい傾向を示した。これは、図-3に示すように、回転打撃式ドリルはφ50mm程度の削孔用ビットの先端で地盤の抵抗を測るのに対し、本工法ではφ1200mmの攪拌翼で地盤を攪拌しながら抵抗を測っており、大きな攪拌抵抗を受けることが主要因と考えられる。各トルクが同図のように地盤の抵抗力に基づき試算できると仮定すれば、

キーワード 地盤改良、液状化対策、機械攪拌

連絡先 大成建設(株)技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL045-814-7236)

本工法で生じるトルクは回転打撃式ドリルの約 230 倍となり、両者のトルクの差異に整合する水準となっている。

4. 地層判定の検討

検討にあたっては、まず、地盤の固さと相関があると考えられる攪拌エネルギーを式(2)により算定した。

$$\text{攪拌エネルギー}(kN \cdot m/m) = \frac{2\pi \times \text{回転トルク}(kN \cdot m) \times \text{回転速度}(rpm)}{\text{フィード速度}(m/min)} \quad \dots \text{式(2)}$$

さらに、 N 値との相関を調べるため、攪拌エネルギーと対応が取れる 8 点について、 N 値測定深度を中心とした 30cm で平均攪拌エネルギーを算出した。これらを、先に言及した回転打撃式ドリルを用いた結果⁴⁾とともに図-4 にまとめる。両者の比較では、本工法で必要となる攪拌エネルギーは、回転打撃式ドリルを用いた場合に比べ平均で 150 倍程度大きい。この結果は、前述した両者のトルクの差異と整合が取れており、攪拌エネルギーの差はトルクの差が主要因になっていると考えられる。

攪拌エネルギーに基づく N 値の推定の可能性を検討するために、ばらつきは大きいものの両者が最小二乗法により求めた傾き、換算係数 α で

関連づけられるとの前提で、
1) 全層平均の係数を設定する、
2) 層構成に応じて係数を設定する場合を比較した。図-4 中に示した各係数を特定した上で算定した換算 N 値の深度分布は図-5 のようになる。全層平均で係数を設定したケースは、 A_s 層を過小に、 F_c 層を過大に評価する結果となった。これに対して、層別に係数を設定した場合は、全体的に見て換算 N 値は N 値の分布を良く捉えることができた。

5. まとめ

地中拡翼型の地盤改良工法を開発し、本報では工法の概要および改良体造成時の攪拌翼の回転トルク抵抗に基づく地層判定の可能性についてまとめた。層別に換算係数 α を与えて算出した換算 N 値は、標準貫入試験の N 値の分布傾向をとらえる結果が得られた。今後は、層毎の換算係数 α についてデータを収集し、精度を高めるとともに、塑性指数と換算係数の関係等についても整理にあたりたい。なお、本報の内容は、国土交通省の助成事業「平成 23 年度震災対応型液状化対策技術の開発」、「浦安市が管理する施設を利用した液状化対策工法の実証実験」で得られた成果の一部となっている。関係各位のご協力に感謝申し上げます。

【参考文献】1) 石井他：地中拡翼型の地盤攪拌改良工法の開発～その 1 拡翼型改良装置の概要と性能試験～、第 67 回土木学会年次学術講演会、pp.605-606、2012。2) 石井他：地中拡翼型の地盤攪拌改良工法の開発～斜め方向改良体の造成～、第 68 回土木学会年次学術講演会、2013(投稿中)。3) 小林他：地中拡翼型の地盤攪拌改良工法における施工管理システムの開発と効果、第 48 地盤工学研究発表会、2012(投稿中)。4) 西他：回転打撃式ドリルを用いた新しい地盤調査法、日本建築学会報告集、第 5 号、pp.69-73、1997。

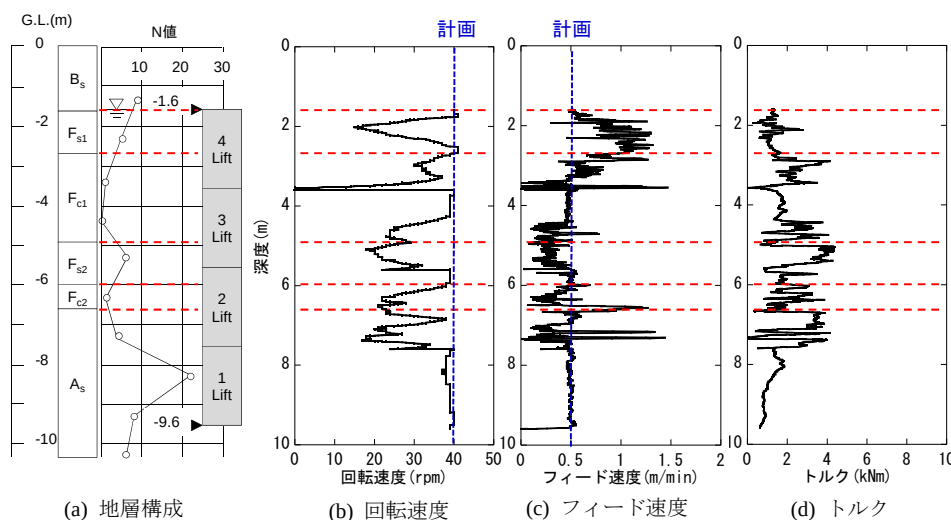


図-2 1 パス目の計測結果

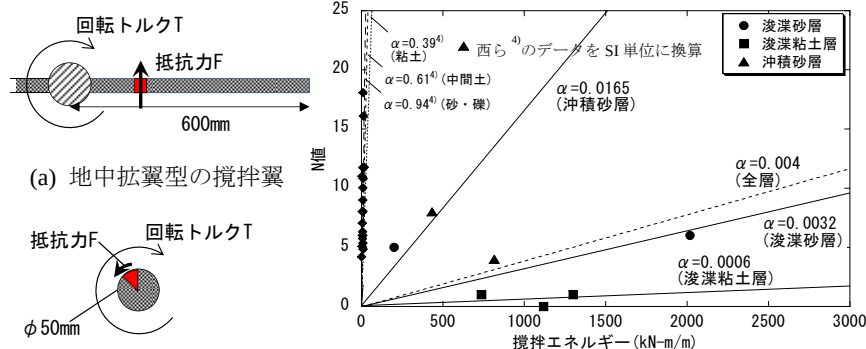


図-4 攪拌エネルギーと N 値の関係

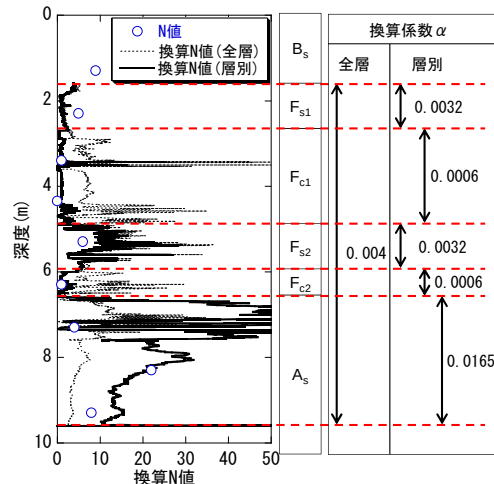


図-5 N 値と換算 N 値の比較