

26. 縦型回転混合攪拌方式による矩形中層改良工法の概要と施工事例

小野田ケミコ株式会社 鈴木 孝一

西尾 経

○伊藤 達也

1. はじめに

縦型回転混合攪拌方式である中層混合処理工法（ツイン・ブレードミキシング工法：以下TB工法と略記する）は、3m～11mの浅・中層改良域の改良深度を直径 $\phi 1.5\text{m}$ ×幅 1.5mの縦型回転式の大径攪拌翼（ツインブレード）で断面形状が矩形状の杭式改良体を造成するものである。また、本工法はバックホウをベースマシンとすることで機動性が増し、また、改良体の品質に欠かすことのできない施工の鉛直性、攪拌深度、回転翼回転数等を管理するシステムを装備している。

本文では、縦型回転攪拌混合方式による攪拌混合の概要と工法仕様ならびに本工法の適用事例について報告する。

2. 矩形浅・中層攪拌処理工法の概要

2.1 工法の開発とその特徴

TB工法²⁾³⁾は、深度 11mまでの領域を縦型回転攪拌混合方式により改良体を造成する機械混合処理工法の一つである。写真－1は、本施工機械の概要を示す。駆動形式は、攪拌装置ケーシングの先端部に装備した左右両側に鉛直回転する2つの大径攪拌翼（ $\phi 1.5\text{m}$ ）により、攪拌翼幅 $B=1.0\text{m}\sim 1.5\text{m}$ の柱状改良体を地中に形成する。施工機は、高トルク仕様の攪拌装置の採用により、大径攪拌翼で改良対象土と固化材スラリーとを強制的に攪拌混合する。このため、攪拌効率が高く、ばらつきの少ない品質の改良体が得られる。改良断面は $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ の正形状から $1.0\text{m}\times 1.5\text{m}$ の長形状の形状まで、目的に応じ選択することが可能である。従来施工機では、改良深度 11m程度の場合でも、約 21mの機械高が必要とされる。しかし、TB工法では、攪拌装置ケーシングにほぼ等しい約 12mの機械高に収められる。これは、従来施工機の機械高の約 1/2 であり、空頭の制約を受けにくい。また、駆動装置は、攪拌装置の下部に設けられていることから、機械の安

定性が高いことも特徴の一つである。

2.2 攪拌混合機構

TB工法では、攪拌駆動装置を攪拌翼に直結させることで、回転トルクを効率高く伝達することができる。貫入・引抜き工程において、縦型回転する攪拌翼により、鉛直方向に定速度で回転する攪拌翼と改良速度の関係から、細やかな攪拌軌跡が得られることになる。つまり、この攪拌翼の軌跡は、4つの攪拌翼に取り付けられた複数の攪拌ブレードが他の攪拌ブレードの軌跡に重ならないように工夫されている。

3. 縦型回転攪拌混合方式による施工仕様

3.1 適用土質

TB工法の適用地盤を表－1 に示すが、粘性土地盤では $N\leq 5$ 、砂地盤では $N\leq 10$ としている。ただし、表層部あるいは空打ち部にコンクリートがら、廃棄物、碎石、玉石等の障害物がある場合には、あらかじめ、これらを除去することが必要である。



写真－1 縦型回転攪拌混合（TB）工法施工機

3.2 施工機の適用範囲

T B 工法においては、表－2に示すように、6～11 mの改良深度に応じて、3 機種が用意されている。いずれの機種も攪拌翼形状は、標準的には $\phi 1.5\text{m} \times \text{B}1.5\text{m}$ の矩形状である。この場合の攪拌面積 $A=2.25\text{m}^2$ であり、改良断面が円形状である一般的な工法（改良径 $\phi 1.0\text{m} \times 2$ 軸方式）の改良面積 $A=1.5\text{m}^2$ と比べ、1.5 倍の改良面積となり、小型でありながら施工能力、施工効率が高い特徴を有している。

3.3 施工機械構成

T B 工法の施工機械構成は、図－1に示すように大きく施工機部とプラント設備部に区分される。

前述のように T B 施工機はバックホウをベースマシンとし、アーム部分に取り付けた攪拌ケーシング先端に大口径の縦型ツインブレード攪拌装置が装備されている。改良の施工精度ならびに品質を確保するため、深度、ブレード回転数、固化材スラリー流量および施工の鉛直性等が一括計測可能な管理システムを新たに導入した。写真－2には、深度ならびに鉛直性検出装置の取り付け状況を示す。改良深度は、独自に開発した差圧式の計測器により、 $\pm 1\text{cm}$ の精度で検出が可能である。また、鉛直性の管理には、検出精度が $\pm 0.5^\circ$ の傾斜検出器を採用した。

写真－3 は、オペレータ席に配置された各種データの表示状況であり、施工状態を的確に把握することができる。

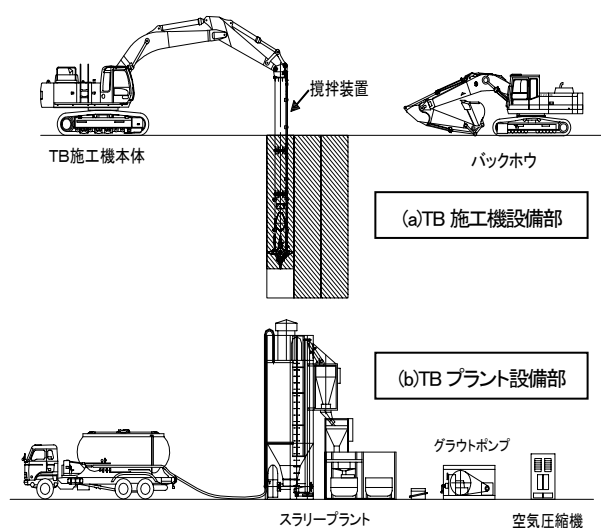
プラント設備部の機能は、所定の水セメント比に調整した固化材スラリーを施工機の攪拌装置に圧送する

ことである。図－1(b)が T B プラント設備の配置例で、セメントサイロに貯蔵され固化材は、スラリープラントで所定の水セメント比となるよう水と混合される。さらにグラウトポンプによって施工仕様に定められた流量の下で、固化材スラリーが回転ブレードの吐出口より吐出される。

3.4 施工方法

T B 工法の標準的な施工手順は、次の通りである。

- ①所定の位置に施工機を移動させ、大径攪拌装置をセットする。
- ②攪拌装置の垂直性を確認した後、先端の大径攪拌翼



図－1 施工機械構成図



写真－2 深度・鉛直性管理検出装置



写真－3 オペレータ席内管理モニター

表－1 適用地盤

砂質土	$N \leq 10$
粘性土	$N \leq 5$ ($C \leq 50\text{kN/m}^2$)
腐植土	$w \leq 1000\%$

表－2 施工機種の適用範囲

形 式	T B 7M	T B 9M	T B 12M
適用深度	6m	8m	11m
施工機クラス	35t級	45t級	45t級特殊仕様

を回転させ、下部吐出口から配合試験により決定された固化材スラリーを $q=100\text{l}\sim 200\text{l}/\text{分}$ で吐出させ、エアも同時に併用しながら攪拌・貫入する。

③下端に達した後に固化材スラリーを上部吐出口に切り替え、TB攪拌装置を引き抜きながら、攪拌混合を行い、以降同様な施工手順を繰り返す。

管理方法は、一般的な機械攪拌工法とほとんど同一の杭式改良の手法による管理ができ、管理上の煩雑さがない。

3.5 改良配置形式

TB工法の改良配置の形式は、前述のとおり杭式改良で、かつ改良体は矩形柱体を基本としている。改良形式では、写真－4に全面改良の事例を、また、写真－5に帯状の格子状改良の事例を示す。全面改良、杭式改良および格子状改良等、目的に応じた配置が可能である。特に全面改良の場合では、従来の円形状改良方式はラップ面積が大きいのに対し、TB工法は矩形形状改良であるため、ラップロスが避けられ、配置に無駄がない。

4. 縦型回転攪拌混合方式による改良土の特性

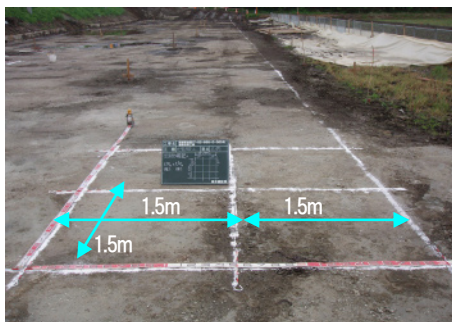
4.1 改良土の室内強度と現場強度の関係

TB工法により改良された改良土の室内改良強さ q_{ul} と現場改良強さ q_{uf} の関係を図－2に示す。この関係によると、おおよそ砂質土は $q_{uf}/q_{ul} \geq 1$ 、また、粘性土では $0.5 \leq q_{uf}/q_{ul} \leq 1$ となる。

この関係から、施工仕様上 q_{ul} と q_{uf} の比は、 $\overline{q_{uf}} \div 1/2 \overline{q_{ul}}$ 程度が推奨される。なお、杭式改良あるいは格子状改良の場合には、 $\overline{q_{uf}} \div 1/3 \overline{q_{ul}}$ としている⁴⁾。

4.2 攪拌回数と改良強度の変動係数

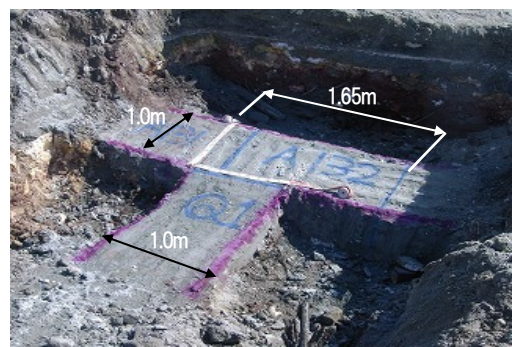
改良土の品質を表す指標として、攪拌ブレードの回転数 n 、ケーシングの貫入速度 V_d ならびに引き抜き速度 V_u から、先ず攪拌回数 N (回/m) を求めた。



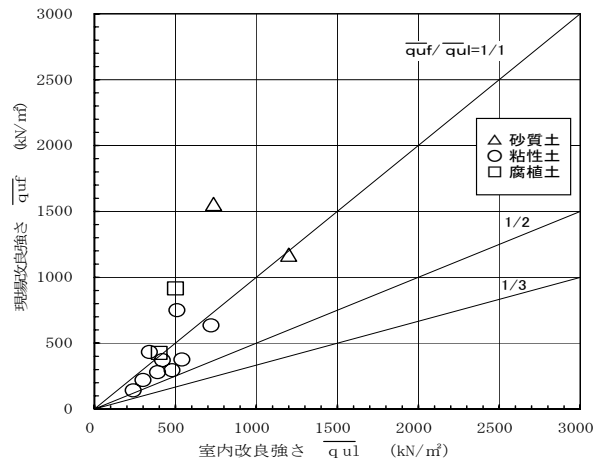
写真－4 全面改良状況

$$N = 4n \left(\frac{1}{V_u} + \frac{1}{V_d} \right) \quad (1)$$

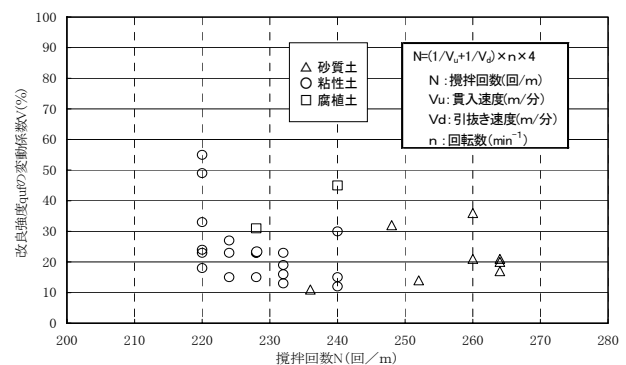
これと現場改良強度 q_{uf} の変動係数 V との関係性を求めた結果が図－3である。同図より、現場改良強度の変動係数 V は、攪拌回数 N の増大に対して、漸減する傾向が窺われる。すなわち、攪拌回数 N の大きさは、単位深さ当りの攪拌密度であり、原土と固化材の混ざり具合と関連し、 $N \rightarrow$ 大となると、改良強度のばらつきは縮小すると考えられる。しかしながら、図－3のデータより判断する限り、対象土の種類と変動係数 V



写真－5 格子状改良一部掘削状況



図－2 改良土の室内～現場強さの関係



図－3 攪拌回数と改良土の変動係数の関係

の関係は、砂質土では $10\% < V < 30\%$ 、粘性土では $10\% < V < 50\%$ となった。ただし、 $N \geq 230$ (回/m) のときの変動係数は、概ね $10\% < V < 30\%$ となるのが認められる。

5. 縦型回転攪拌混合方式を用いた地盤変位測定事例

5.1 工事概要

本工事は、既設雨水排水路を撤去後にボックスカルバートを敷設するための沈下防止、支持力増加を目的として地盤改良工が計画された。施工域には図-4に示すように改良側面から離隔距離 $x=1\text{m}$ の位置に $\phi 900\text{mm}$ の既設下水管が敷設されている。

地盤条件は、上層部に含水比 $w=170\%$ の腐植土層、下層部には含水比 $w=60\%$ の粘性土層で構成されている。固化材配合量は腐植土層では $a_w=190\text{kg/m}^3$ 、粘性土層では $a_w=182\text{kg/m}^3$ である。ここでは、施工時の地盤変位の影響を検証するため、地中傾斜計を最も改良深度の深い改良長 5.9m の改良タイプ1のエリアにおいて、既設下水管との反対側に設置し、施工時の地盤変位を測定して既設下水管の変位を予測した。

5.2 施工時の地盤変位測定結果

挿入式傾斜計の設置位置は、図-4に示すように、改良側面から離隔距離 $X=0.5\text{m}$ の位置とした。施工順序は、傾斜計の位置に最も近接する杭 NO.1 から杭 NO.15 まで順に施工を行った。地盤変位の測定方法は、杭番号1～3については、杭の施工完了直後に測定した。その後は杭 NO.6 および NO.15 の施工完了直後に測定した。それぞれの施工時の地盤変位量を測定した結果が図-5である。改良域と直行方向にある A 方向では、測点順序①で 1cm 程度、また、測点順序②の施工完了時に最大 2cm 程度の押し出しの変位が生じた。また、改良域との並行する B 方向では、15 本の施工杭を施工したが、最大 0.5cm 程度の変位となった。以上の計測結果より、既設下水管へ与える影響を推測すると、埋設管は高さ 2.9m の盛土下にあり、A 方向の最大 2cm の変位量は地表面部であり、その後の累積変位はなく、最終の地盤変位は 0.5cm と戻る方向に収束しており、変位の影響はないもの考えられる。

6. まとめ

TB 工法は鉛直方向に回転する縦型回転攪拌混合方式による攪拌駆動装置を装備し、回転トルクを効率よ

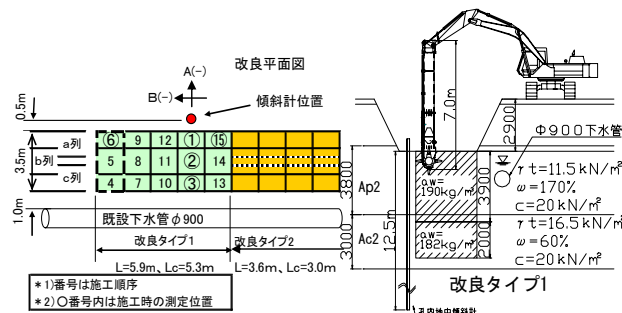


図-4 施工時の地盤変位測定位置

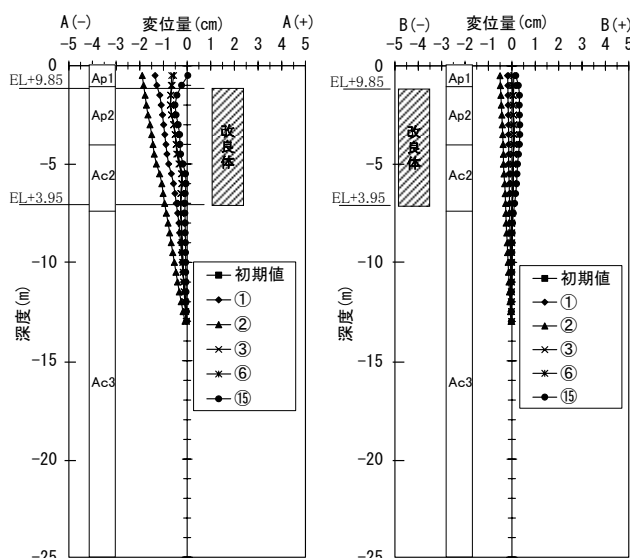


図-5 施工時の地盤変位測定結果

く伝達させ、鉛直方向に固化材スラリーと改良対象土を強制的に攪拌することが特徴である。また、改良形状は、矩形断面状の改良形式のため、全面改良、杭式改良、格子状改良等の配置ができる。施工管理手法として、攪拌回数 $N=230$ 回/m以上で改良土の変動係数は、 $V=10\sim 30\%$ が確保されることを確認した。また、実施工において、施工時の地盤変位を測定した結果、低変位な施工が可能であることが確認された。謝辞：本論文を執筆するに当たり、中央大学大学院斎藤邦夫教授の多大なご助言・ご指導を賜り、末筆ながら謝意を表します。

【参考文献】1)松岡他：ロータリー式攪拌工法の開発と施工事例，第4回技術報告会，北海道土木技術会，2006.1、2)ツイン・ブレードミキシング工法：NETIS 新技術情報提供システム，2006.1、3)鈴木、斎藤他：縦型回転攪拌混合方式を用いた矩形中層改良工法の改良機構と施工事例，第8回地盤改良シンポジウム，2008.11 投稿中、4) (財)土木研究センター編：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版，2004.3