

29. 揺動攪拌機構による中層混合処理工法

・・・スラリー揺動攪拌工（WILL 工法）・・・

WILL 工法協会 技術委員長

○市坪 天士

技術委員

中馬 忠司、島野 嵐

1. はじめに

国土面積のわずか1割程度の平野部に社会・経済活動の大半が集中する我が国にとって、軟弱地盤に対する技術力向上は不可欠である。このような背景の中、基礎地盤の強化を図る中層混合処理工法の一つとして、より効率的かつ高品質な改良体構築を目指し、スラリー揺動攪拌工（WILL 工法）が開発された。

本工法の特徴は以下のとおりである。

- ① 攪拌効率の高い揺動式リボンスクリュー型ロータリー攪拌翼を持つ。
- ② 高トルク仕様と特殊掘削補助装置（ブーメランプレート）の装着とにより、N 値 30 を超える締まった砂質地盤の掘削が可能。
- ③ 深度、瞬時流量、積算流量、回転数、積算回転数、傾斜角度など高度な施工管理が可能。
- ④ 施工機本体がバックホウ型ベースマシンであるため、機動性に優れる。
- ⑤ 中層（深度 8.0m）までの改良が可能。

本稿においては、上記のうち特に新規性が高い①、②、③についての構造の概要と検証実験結果について報告する。

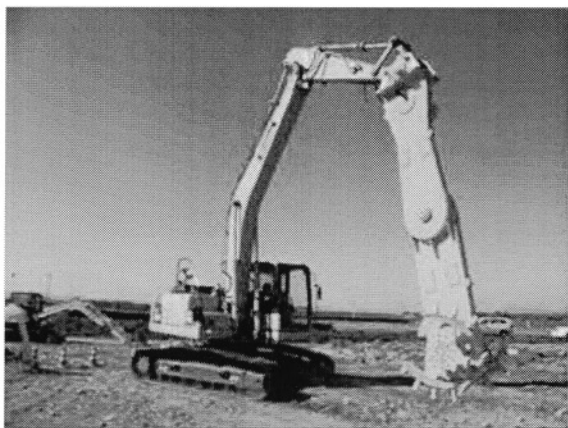


図 1. WILL 工法施工機械全景

2. 掘削・攪拌混合の機構と品質の向上

本工法の攪拌機は攪拌機下部に設置された攪拌翼をチェーン駆動により、深度方向に対して上下方向回転で攪拌混合するロータリー攪拌機である。この点については、同様の攪拌機構を持つ工法も複数開発されている。

しかし、縦回転型の攪拌機の欠点として、改良対象土の移動方向が上下方向に支配されやすいことが挙げられる。そこで攪拌翼の形状を工夫し、改良対象土を上下方向だけでなく、左右方向に揺動させることで攪拌効率向上を図った。

2.1. 揺動攪拌機構の概要

図 2.1 (A) に示す斜めのリボンスクリュー型攪拌翼によって、攪拌翼の回転に伴い土は外側から内側へ強制的に移動させられる。逆に、攪拌翼が図 2.2 (B) に示す状態で回転すると、土は内側から外側へ強制的に移動させられる。

これらの動作が攪拌翼の回転によって連続的に発生し、改良対象土を左右交互に動かす（揺動運動）ことにより、高い攪拌効率が得られる。

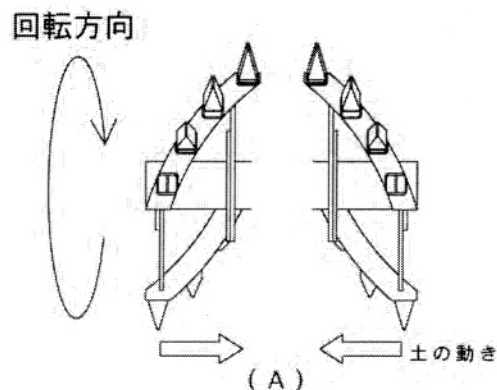


図 2.1. 揺動攪拌の仕組み (1)

回転方向

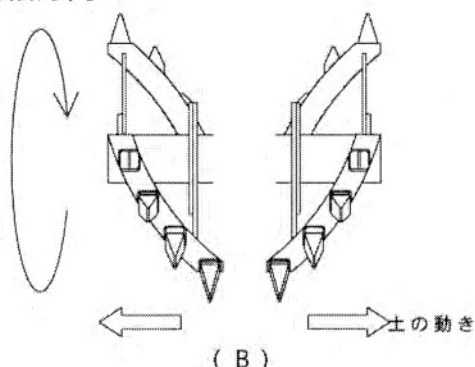


図 2.2. 揺動攪拌の仕組み (2)

2.2. 攪拌翼の種類

本工法においては、2 タイプのリボンスクリュー型攪拌翼を使い分けることとした。

図 2.3 に示す T 型リボンスクリュー攪拌翼は主に粘性土地盤の供廻り現象防止に適しており、図 2.4 箱型スクリュー攪拌翼はブーメランプレートを用いることで、締った砂質地盤・砂礫地盤の掘削に適している。これらの攪拌翼を土質毎に使い分けることで、幅広い土質に対しての改良が可能となった。

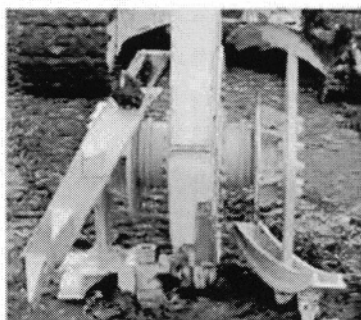


図 2.3. T 型リボンスクリュー攪拌翼

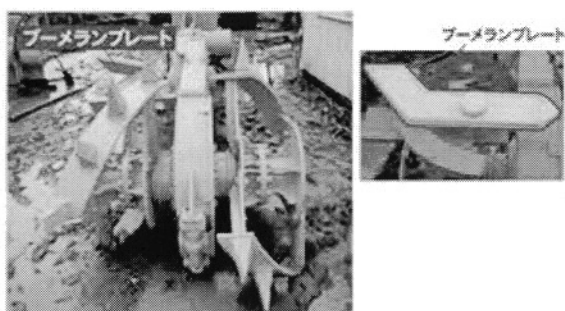


図 2.3. 箱型リボンスクリュー攪拌翼

2.3. 掘削能力の向上

本工法の特徴の一つとして、N 値 30 を超える締まった砂質地盤の掘削が可能であることが挙げられる。この理由としては、高性能油圧モーターと 2 段式ギア変換により高トルク仕様としたことおよび特殊掘削装置（ブーメランプレート）を装着したことの 2 つが挙げられる。

開発段階において、攪拌翼により掘削できない部分（チェーン駆動部直下）が存在したため、その部分が障害となって高い N 値を示す地盤の掘削に苦慮した。これを解消するために、攪拌装置のチェーン駆動直下部を掘削するための補助装置（ブーメランプレート）を攪拌翼に装着することによって、掘削能力を格段に向上させることができた。

2.3. 専用管理装置の改善

専用の管理装置を用いることで、信頼性の高い改良体品質の確保を図った。

専用管理装置は、施工マシンの運転席内に設置・表示することとした。これにより、WILL マシンのオペレータはリアルタイムな管理が可能となった。管理項目は、深度・瞬時流量・積算流量・瞬時回転数・積算回転数・時間・攪拌機掘削角度であり、これらが管理装置画面上に表示されるシステムである。また、操作性の向上を図るため、管理装置の操作はタッチパネル方式を採用した。

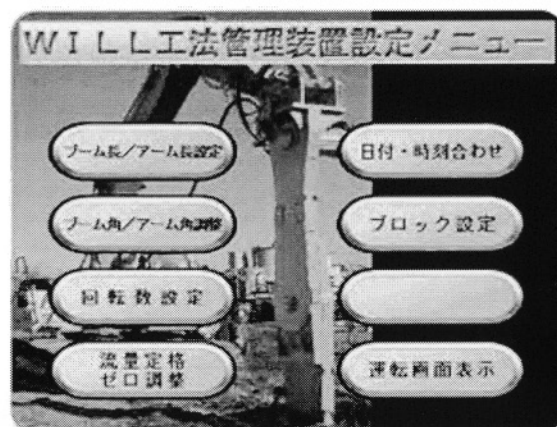


図 2.5. WILL 施工管理装置画面例 (1)

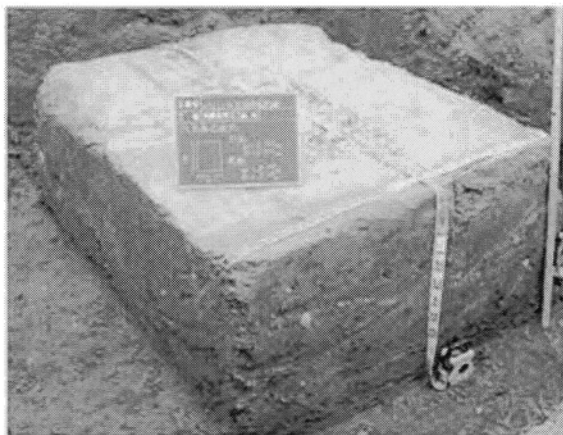


図 3.2. 改良体掘削確認状況

3.2. 掘削能力の検証

前述のとおり、WILL 工法では土質毎に攪拌翼を使い分けることによる幅広い土質への対応を開発目標の一つとして位置付けていたことから、2 タイプのリボンスクリュー型攪拌翼、ブーメランプレートの有無、リボンスクリュー以外の縦回転型攪拌翼等さまざまな仕様の攪拌翼を用いて、掘削能力の検証試験を実施した。

■WILL工法の掘削能力比較【掘削時間－掘削深度相関】

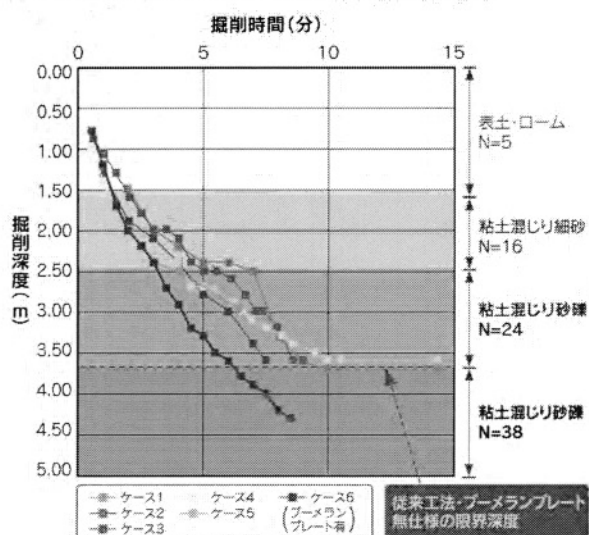


図 3.3. 掘削能力比較実験結果

攪拌翼仕様毎に複数のケースについて試験を行ったが、ブーメランプレートを装着した場合のみ、N=38の砂礫層の掘削が可能であった（図 3.3 参照）。これ

により、バックホウ型ベースマシン（0.8 m³クラス）の小型改良機を用いて N 値 30 以上の掘削が可能とする上で、ブーメランプレートによる先行掘削の効果を検証することができた。

これら現場実証試験および施工実績等から、本工法の適用範囲を表 3.2 に示すとおりとした。

表 3.2. WILL 工法の適用範囲

ベースマシン	最大改良深度	適応土質 (N 値)	
		粘性土	砂質土・砂礫
0.8 m ³ クラス	5.0m	N<10	N<30
1.0 m ³ クラス	6.0m	N<10	N<30
1.4 m ³ クラス	8.0m	N<15	N<40

* 礫径はφ100mm 以下を標準とするが、礫率等を考慮する必要がある。



図 3.4. 施工実験状況

4. おわりに

スラリー揺動攪拌工（WILL 工法）の攪拌混合性能、掘削性能および専用管理装置について、実証実験および施工実績を重ねることにより、改良対象の範囲が広がった。

今後は、礫径・礫率と攪拌混合能力・掘削能力との相関性の把握や管理装置のさらなる改善等を進めることで、より精度の高い施工を目指したい。