

改良型 WILL 工法の開発

安藤ハザマ 正会員○西尾竜文，足立有史，木村誠
青山機工 小林司
新日本グラウト工業 市坪天士

1. はじめに

近年，広域的豪雨や巨大地震などの大規模な自然災害が増えていることから，河川堤防やため池，大規模谷埋め盛土などの安定化対策が求められている．安定化対策として中層混合処理工法などの地盤改良が採用される事例が増加している．特に延長の長い河川堤防や大規模な谷埋め盛土を対象とする場合，施工規模が大きくなるため，効率的な対策の推進に向け，工期や経済性などの合理化のニーズが高まっている．このような背景から中層混合処理工法に分類される WILL 工法に高压吐出機能を追加することで攪拌性能を向上させた改良型 WILL 工法を開発した．本報では，改良型 WILL 工法の開発概要と粘性土地盤を対象として実施した試験施工について報告する．

2. 改良型 WILL 工法の概要

(1) WILL 工法とは

図-1，表-1 に WILL 工法の施工機械全景と類似工法との比較表を示す．WILL 工法とは，地盤改良工法のうち中層混合処理工法に分類され，スラリー状のセメント系固化材を注入しながら攪拌翼により原地盤と攪拌混合し，改良体を造成する工法である．バックホウをベースマシンとするため，機動性に優れ，狭隘な場所での施工が可能な工法である．複数の攪拌翼から地盤条件に応じた攪拌翼を選定することで幅広い土質に適用可能である．最大改良深度は 13m であり，類似工法であるパワーブレンダー工法と同等である．



図-1 WILL 工法施工機械全景

(2) 改良型 WILL 工法

図-2，表-2 に改良型 WILL 工法の概要図と従来型と改良型の比較表を示す．改良型 WILL 工法は，従来型 WILL 工法に上部高压吐出機能を新設することで攪拌性能を大幅に向上させたものである．従来型において攪拌翼下部からのみ注入していたセメントスラリーを新設した上部吐出口から高压で噴射することで，単位時間当たりのスラリー注入量を約 1.7 倍に増加させた．上部吐出口の吐出圧は，下部吐出口の 10 倍以上であり，高压噴射により改良体造成時の掘削，解泥を促進し，攪拌性能の向上を期待するものである．

表-1 WILL 工法と類似工法の比較

項目		WILL 工法	パワーブレンダー工法
攪拌方法		スラリー揺動攪拌工法	トレンチャー式攪拌工法
適用 N 値	砂質土	<40	≤20 程度
	粘性土	<15	≤10 程度
最大改良深度		13m	

表-2 従来型と改良型の比較

	吐出口	吐出方向	吐出圧	スラリー注入量 (L/min)
従来型	下部	横向き	1MPa	240
改良型	上部	下向き	10MPa 以上	400
	下部	横向き	1MPa	

キーワード 中層混合処理工法、改良型 WILL 工法、上部高压吐出機能

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 (株) 安藤・間 建設本部 技術研究所 土木研究部 TEL 029-858-8813

3. 試験施工

改良型 WILL 工法の適用による効果および課題を確認することを目的として試験施工を実施した。

(1) 試験概要

a) 試験条件

図-3、表-3、4 に試験施工の対象地盤の土質条件と施工仕様、スラリーの配合表を示す。対象地盤は表層から GL-2.3m まで礫を含んだ埋土と礫混じり砂が分布し、GL-2.3m 以深は均質な粘土地盤で構成されている。本試験には、ベースマシンとして 1.4m³のバックホウを使用した。改良深度は、GL-0.0m～5.0m とし、1.5m の攪拌翼を用いて 45.0m³の改良体を造成した。改良速度は従来型の約 1.7 倍とした。

b) 試験ケース

表-5、6 に試験ケースと上部吐出口の噴射仕様を示す。本試験では、合計 5 ケースの試験施工を行った。CASE1, 2, 3 では、改良型 WILL 工法における上部吐出口の最も効率的な噴射仕様を検討することを目的として A～C の 3 種類の異なる噴射仕様で試験施工を行った。CASE1 は、攪拌翼周辺の解泥を促進し、供回り防止を期待して、攪拌翼の中心軸に向けてスラリーを噴射した。

表-3 施工仕様

項目	仕様
ベースマシン	1.4m ³ BH
攪拌装置	MAR-700 (7.0m 仕様)
攪拌翼寸法 (m)	1.5×1.5
挿入回数 (回)	4
改良深度 (m)	5.0
改良体積 (m ³)	45.0

表-4 スラリー配合表

W/C (%)	単位量		
	水量 (kg/m ³)	セメント量 (kg/m ³)	スラリー量 (L/m ³)
100	150	150	200

表-5 試験ケース

試験目的	ケース名	改良速度 (sec/m ³)	噴射方向 (表-6)	吐出量 (L/min)		吐出圧 (MPa)		ポンプ種類	
				上部	下部	上部	下部	上部	下部
上部吐出口の噴射方向検討	CASE1	36.0 (従来型の約 1.7 倍)	A	160	240	10.0	1.0	特殊ポンプ	汎用低圧ポンプ
	CASE2		B						
	CASE3		C						
汎用ポンプの適用検討	CASE4		B	100	300	19.0		汎用高圧	
	CASE5			140	260	2.0		汎用低圧	

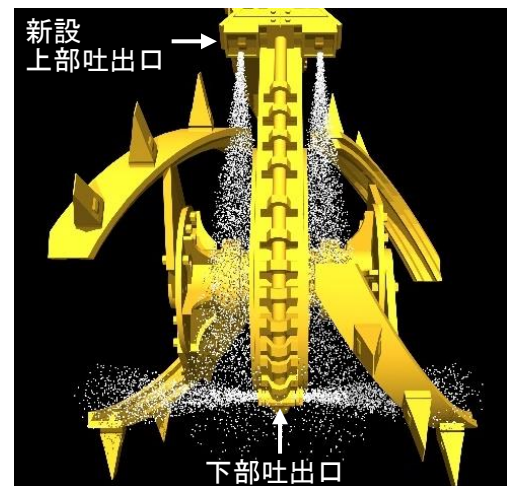
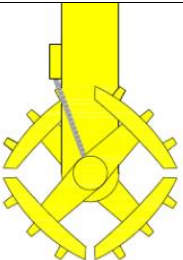
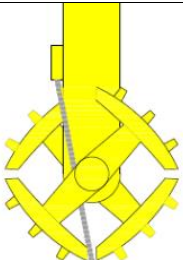
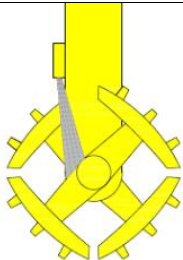


図-2 改良型 WILL 工法
(攪拌翼)



標尺 m	層厚 m	深度 m	土質区分	色調	記 事
1			埋土	茶、灰	レンガ片・花崗岩礫を多く含む。礫はφ2～80mmを含む。
2	1.80	1.80	礫混じり砂	灰	花崗岩礫を含む。礫はφ2～40mm。
3	0.50	2.30			
4			粘土	灰、暗灰	全体的に均質な粘土よりなる。腐植物混入。下位に向かい柔らかくなる。
5					
6	3.70	6.00			

表-6 上部吐出口の噴射仕様

噴射 タイプ	A：攪拌翼軸方向 (CASE1)	B：攪拌翼軸前方方向 (CASE2、4、5)	C：扇形噴射 (CASE3)
概要図 (攪拌翼 側面)			

CASE2 では、攪拌機先端の地盤の掘削、解泥を補助することによる攪拌性能向上を期待し、攪拌翼の中心軸よりやや前方に向けスラリーを噴射した。CASE3 では、攪拌翼周辺の広範囲の解泥促進効果を期待して、攪拌翼の中心軸から前方の広い範囲に向け扇形状に噴射した。CASE4、5 では、改良型 WILL 工法における機材コスト削減を目的として、上部吐出口への汎用的なポンプの適用性について検討を行った。CASE1～3 において上部吐出口に使用したポンプは、高圧吐出および大容量の圧送が可能な特殊ポンプであり、下部吐出口に使用している汎用ポンプと比較して機械損料が大きい。そのため、上部吐出口に汎用ポンプを使用することでコスト削減が期待できる。汎用ポンプは特殊ポンプに比べ、単位時間あたりの最大吐出量が少ないが、下部からの吐出量を増加させることで全体の吐出量を確保し、CASE1～3 と同等の施工速度を確保できる可能性がある。CASE4 は、上部吐出口に高圧吐出が可能な汎用ポンプを使用し、吐出量を上部 100L/min、下部 300L/min とした。CASE5 は、上部吐出口に下部吐出口と同様の低圧汎用ポンプを使用し、吐出量を上部 140L/min、下部 260L/min とした。

(2) 試験施工の結果と考察

a) 上部吐出口の噴射仕様の検討

図-4 に CASE1～3 において造成した地盤改良体の一軸圧縮強度の深度分布を示す。図中の点線は各ケースにおける全深度の平均値を示している。地盤改良体の中央部においてコアボーリングを実施し、一軸圧縮試験用の供試体を採取した。CASE1 では、表層から深くなるにつれて強度が低下し、最も小さいところでは、1.0MPa を下回る箇所が存在していた。一軸圧縮強度の平均値は最も小さく、1.8MPa であった。CASE2 では、深度方向にばらつきはあるが全体的に高い強度を示している。平均値は 3 ケースのうち最も大きく 3.8MPa であった。CASE3 では、平均値は 2.5MPa であり、CASE1、2 の中間程度の強度であったが、深いところでは、CASE1 と同様に 1.0MPa を下回る箇所が存在していた。図-5、6 に CASE1～3 のコア採取率と一軸圧縮強度の変動係数を示す。コア採取率は、すべてのケースで目安の水準²⁾である 90%以上を満たす結果であった。変動係数は、深層混合処理工法の陸上施工における標準値 30～50%³⁾の平均値 40%に対して、CASE1、3 は大きく、CASE2 のみ小さい結果であった。これらの結果

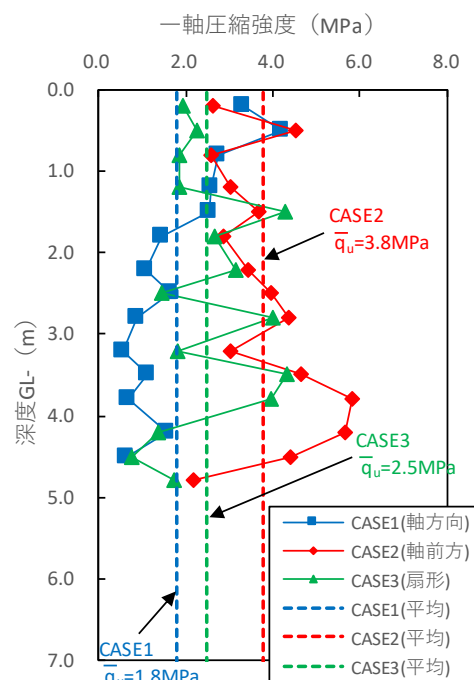


図-4 一軸圧縮強度の深度分布

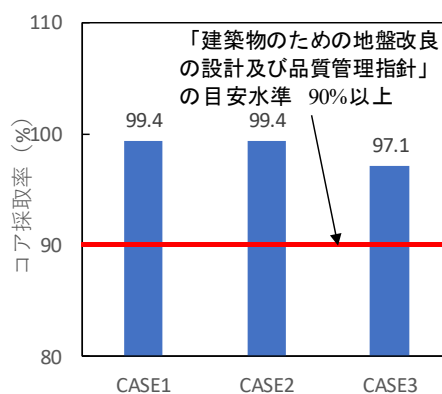


図-5 コア採取率

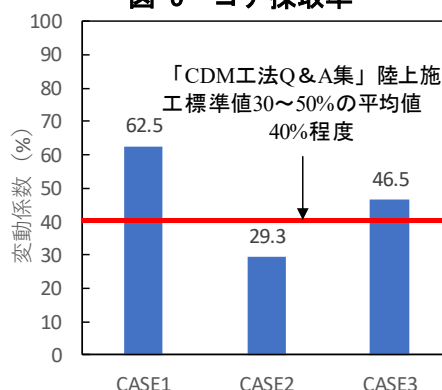


図-6 一軸圧縮強度の変動係数

より、CASE2 において造成された改良体が最も均質で強度が大きいことが確認でき、上部吐出口の3種類の噴射仕様のうち CASE2 (B: 攪拌翼中心軸前方) の攪拌性能が最も高いことが確認できた。そのため、改良型 WILL 工法の上部吐出口の噴射仕様として CASE2 (B: 攪拌翼中心軸前方) を採用した。

b) 上部吐出口への汎用ポンプの適用検討

図-7 に CASE4, 5 のボーリング試料を示す。CASE4 では、施工全長にわたり良好なコアが採取できており、フェノールフタレイン溶液の反応も明確に確認できる。これに対して CASE5 では、GL-4.0m～5.0m のコアが欠損しており、採取できた箇所においてもフェノールフタレイン溶液の反応が確認できない。コア採取率は、CASE4 では、99.8%であり、90%以上を満足しているのに対して CASE5 では、77.8%であり、90%を下回る結果であった。図-8, 9 に CASE4, 5 の施工状況を示す。CASE5 では、施工時に地表面にスラリーが逸走して、施工後の攪拌翼周辺に解泥されていない原地盤が付着し、供回りしている状況が確認された。CASE4 においては、施工時にスラリーの逸走はなく、従来型と同様の施工状況であった。図-10 に CASE2, CASE4 の変動係数と一軸圧縮強度の平均値を示す。CASE4 の変動係数は 30.6%、一軸圧縮強度は 3.7MPa であり、特殊ポンプを使用した CASE2 と同程度であった。これらの結果より、改良型 WILL 工法の上部吐出口に高压の汎用ポンプを適用した場合でも下部吐出量を増加させることで特殊ポンプを使用した場合と同等の施工速度および品質が確保できることが確認できた。

4. まとめ

従来型 WILL 工法に高压吐出機能を追加した改良型 WILL 工法を開発した。粘性土地盤を対象とした改良型 WILL 工法の試験施工を行った結果、以下の知見が得られた。

- ・ 改良型 WILL 工法の適用により、施工速度を従来型の約 1.7 倍とした場合に従来型の品質目標を満足することができる。
- ・ 上部高压吐出は、攪拌翼中心軸よりやや前方に向けることで最も攪拌性能が向上する。
- ・ 上部吐出口に高压汎用ポンプを適用した場合でも下部吐出量を増加させることで特殊ポンプと同等の施工速度と品質を確保できる。

今後は実施工現場へ展開を進め、現場適用により得られた結果をもとにさらに改良を進める予定である。

【参考文献】

- 1) WILL 工法協会, WILL 工法技術・積算資料, 平成 28 年 4 月
- 2) 一般財団法人日本建築センター他, 2018 年度版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, 平成 30 年 11 月
- 3) CDM 研究会, セメント系深層混合処理工法 CDMQ&A 集, 平成 17 年 2 月



図-7 ボーリング試料 (CASE4、5)



図-8 施工状況 (CASE4)



図-9 施工状況 (CASE5)

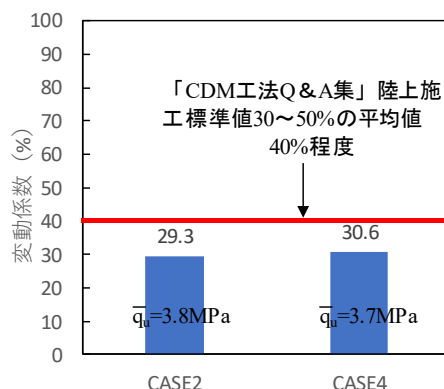


図-10 変動係数 (CASE2、CASE4)