

多方向スラリー揺動攪拌工法（WILL-m 工法）の地盤改良土留めへの適用事例

(株)安藤・間 正会員 ○上田 祥央
 足立 有史
 碓井 猛司
 西尾 竜文

1. はじめに

近年、豪雨や地震などの自然災害の頻発化・激甚化を背景に国土強靱化の推進が図られている。河川堤防や道路盛土などの盛土構造物の安定化対策において、優れた性能や信頼性の観点からセメント系固化改良による安定化対策のニーズが増加している。一方、河川堤防や大規模な谷埋め盛土等では施工規模が大きくなることに加えて、ヤードの制約による施工性の低下が懸念される。そのため、効率的な対策の推進に向け、工期や経済性、環境負荷低減に対応した合理的な地盤改良技術の確立が求められている。また、土留め工事においては、施工性や安全性向上、工期短縮の観点から切梁支保工ができるだけ少ない土留め形式が望まれており、近年では、地盤改良体を土留め壁として利用する自立式土留めが実用化されている。

上記を踏まえ、地盤改良工法のうち中層混合処理工法に分類されるスラリー揺動攪拌工法「WILL 工法」に、新たな噴射機構を搭載した多方向スラリー揺動攪拌工法「WILL-m 工法」を開発し¹⁾、地盤改良土留めに適用した。本報では、構造物構築工事の掘削に伴う地盤改良土留めへの WILL-m 工法の適用事例とその効果について報告する。

2. WILL-m 工法の概要

図-1、表-1 に WILL-m 工法の施工機械全景と仕様を示す。WILL-m 工法は、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²⁾。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。地盤条件に応じて攪拌翼を選定することで幅広い土質に適用可能であり、最大改良深度 13 m まで改良可能である。



図-1 WILL-m 工法施工機械全景

表-1 WILL-m 工法の仕様

項目	仕様	
攪拌方法	スラリー揺動攪拌工法	
適用 N 値	砂質土	< 40
	粘性土	< 15
最大改良深度	13m	

表-2 従来型 WILL 工法と WILL-m 工法の仕様比較

	吐出口	吐出方向	吐出圧 (MPa)	スラリー吐出量 (L/min)
従来型 WILL 工法	下部	横向き	1.0	240
WILL-m 工法	上部	下向き	10 以上	400
	下部	横向き	1.0	

キーワード 地盤改良, 中層混合処理工法, 高速化, 適用事例

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 (株) 安藤・間 技術研究所 地盤・基礎研究部 TEL 029-858-8813

表-2 に従来型 WILL 工法と WILL-m 工法の仕様の比較を示す。WILL-m 工法は、従来型 WILL 工法において、攪拌翼下部からのみ吐出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圧で吐出することで攪拌性能を大幅に向上させたものである。セメントスラリーの吐出量は従来型 WILL 工法では 240L/min であるのに対して、WILL-m 工法では 400L/min であり、単位時間当たりのスラリー吐出量は最大で約 1.7 倍となる。また、新設した上部吐出口の吐出圧は下部吐出口の 10 倍以上であり、この噴射エネルギーにより改良体造成時の掘削、解泥を促進し、攪拌性能の向上させたものである。

3. 適用事例

(1) 工事概要

表-3、図-2 に適用工事の概要と全体完成図を示す。千葉県印西市の印旛沼周辺の水田に農業用水を供給する機場や用水路は、整備後 50 年近くが経過しており、老朽化が進んでいるものも多い。そのため、印旛沼二期農業水利事業として、機場や用水路等の改修、新設が進められている。本工事は、その事業の一環として機場、樋門樋管および用水吐出し水槽を新設するものである。本工事のうち、機場下部工の構築において地盤改良土留めを採用し、その構築に WILL-m 工法および従来型 WILL 工法を適用した。

(2) 地盤改良土留めの採用

図-3 に当初設計における機場下部工の施工図の平面図と断面図を示す。図中には当初設計の土留め工を赤線で示している。機場下部工の躯体は、水路・水槽・ポンプ室など多くの機能を有するため、壁が多く、複数の配管が輻輳する構造となっている。さらに、底盤の高さが断面

表-3 工事概要

工事名	印旛沼二期農業水利工事 埜原機場建設工事
発注者	農林水産省 関東農政局
工期	平成 30 年 8 月 2 日～ 令和 6 年 3 月 28 日
工事場所	千葉県印西市安食



図-2 全体完成図

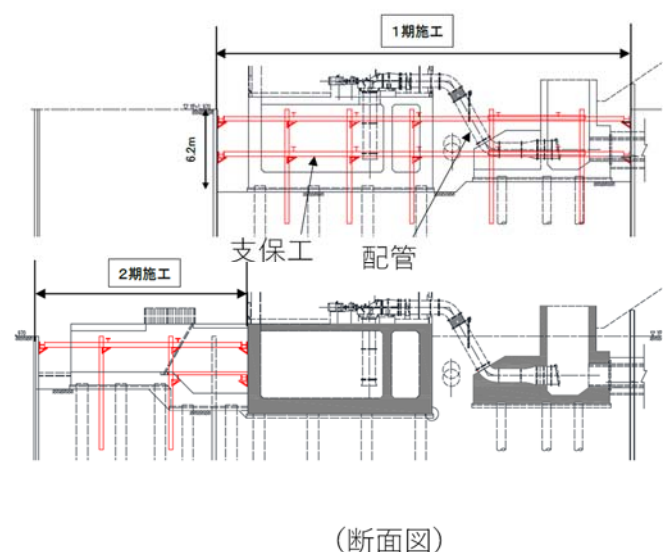
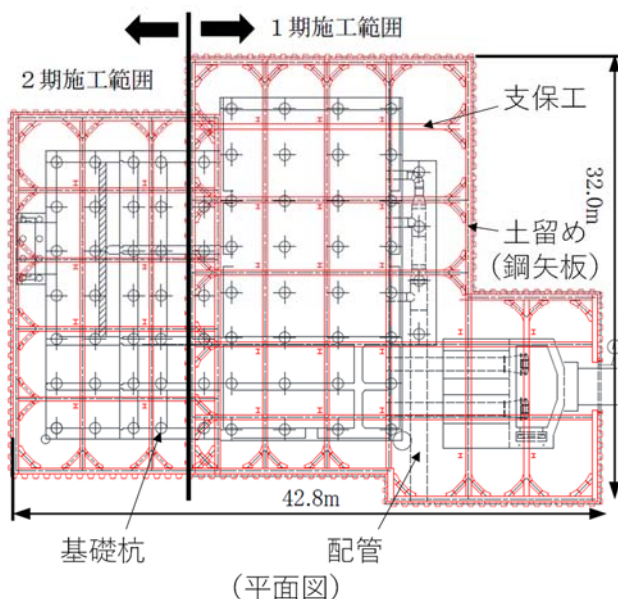


図-3 機場下部工の施工図 (当初設計)

によって異なる複雑な形状であり、2 期に分割して構築する計画であった。機場下部工の構築では、最大 GL-6.2m 程度までの掘削が必要であり、当初設計において鋼矢板による切梁式の土留め工が計画されていた。切梁式の土留め工では、躯体の壁や配管等を考慮して、切梁や中間杭を設置する必要があるため、施工が煩雑となり、工程遅延や安全性の低下が懸念された。そのため、本工事では、切梁支保工を省略できる自立式の地盤改良土留めに変更した。図-4、写真-1 に地盤改良土留めの概要図と地盤条件および掘削完了時の地盤改良土留めを示す。本工事の地盤改良土留めは、機場下部工の周囲および底面に 3.0~4.0m の地盤改良体で構築するものである。周囲からの土水圧に対して、地盤改良体が自立する設計となっているため、土留め壁内部に切梁支保工を必要としない構造となっている。地盤改良土留めの採用により、切梁支保工を省略でき、施工の簡略化に加え、2 期に分割されていた下部工構築工事を同時に施工することが可能となるため、大幅な工期短縮を実現した。また、地盤改良土留めは、止水性の高い改良体で土留め壁および底盤を構築しているため、切梁式に比べて地下水の浸入が少なく、排水対策工の削減が可能となった。

(3) WILL-m 工法の適用

本工事では、地盤改良土留めの構築に WILL-m 工法および従来型 WILL 工法を適用した。総改良土量は約 18,000m³ であり、そのうち約 8,900m³ を WILL-m 工法、約 9,100m³ を従来型 WILL 工法で施工した。改良対象地盤は上部が盛土 (B) であり、その下部が N 値 20 を超える砂質土 (As1) で構成されている。土留工の内空寸法は横 34 m×縦 30 m×高さ 6.18 m であり、壁厚 3.5~4.0m、底盤厚 3.0m である。構造物の基礎杭打設時のトラフィカビリティ確保を目的として、土留め部に加え、掘削部を含む全層を地盤改良した。土留め部および掘削部の改良仕様を表-4 に示す。改良土量は土留め壁部、底盤部が約 11,700m³、掘削部が 6,300m³ である。目標強度は土留め壁部および底盤部を 0.28MPa、掘削部を 0.15MPa としセメント添加量をそれぞれ 85kg/m³ と 70kg/m³ とした。深度方向にセメント添加量が異なる箇所は貫入速度を一定として、セメント添加量に応じて貫入時のスラリー吐出量を切り替えて施工した。1m³ 当りの改良時間は、WILL-m 工法では、事前の試験施工の結果から目標品質を満足できる 50sec/m³ とし、従来型 WILL 工法は、標準である 60sec/m³ とした。施工エリアを 3~15m² の施工ブロックに分割し、ブロックごとに所定の深度まで改良体を造成した。

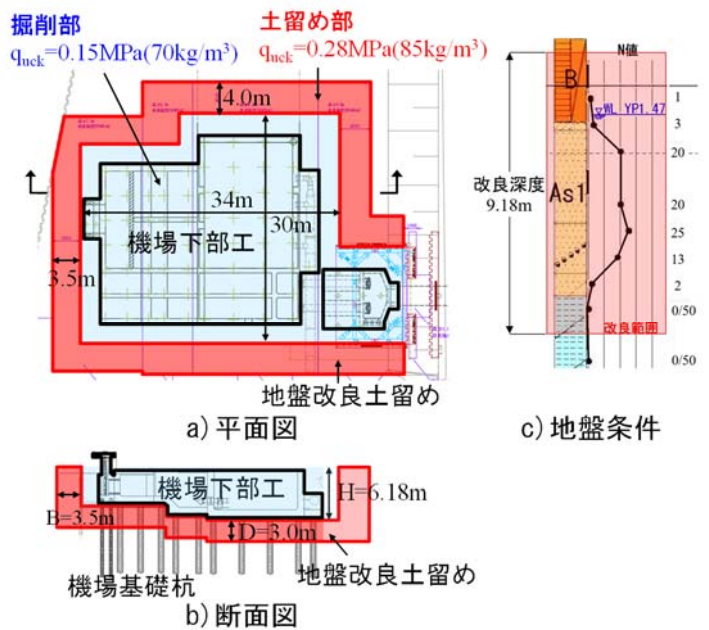


図-4 地盤改良土留めの概要図と地盤条件



写真-1 地盤改良土留めの掘削完了

表-4 地盤改良体の仕様

	改良土量 (m ³)	目標強度 (MPa)	セメント添加量 (kg/m ³)
土留め壁部 底盤部	約 11,500	0.28	85
掘削部	約 6,500	0.15	75

あり、壁厚 3.5~4.0m、底盤厚 3.0m である。構造物の基礎杭打設時のトラフィカビリティ確保を目的として、土留め部に加え、掘削部を含む全層を地盤改良した。土留め部および掘削部の改良仕様を表-4 に示す。改良土量は土留め壁部、底盤部が約 11,700m³、掘削部が 6,300m³ である。目標強度は土留め壁部および底盤部を 0.28MPa、掘削部を 0.15MPa としセメント添加量をそれぞれ 85kg/m³ と 70kg/m³ とした。深度方向にセメント添加量が異なる箇所は貫入速度を一定として、セメント添加量に応じて貫入時のスラリー吐出量を切り替えて施工した。1m³ 当りの改良時間は、WILL-m 工法では、事前の試験施工の結果から目標品質を満足できる 50sec/m³ とし、従来型 WILL 工法は、標準である 60sec/m³ とした。施工エリアを 3~15m² の施工ブロックに分割し、ブロックごとに所定の深度まで改良体を造成した。

(4) WILL-m 工法と従来型 WILL 工法の比較

図-5 に WILL-m 工法と従来型 WILL 工法の改良時間の実績を示す。両者ともに改良ブロックの土量の大小によらず、概ね一定の速度で施工できた。全ブロックの平均改良時間は、従来型 WILL 工法で 63.2sec/m³、WILL-m 工法で 52.1sec/m³ であり、今回の対象地盤では WILL-m 工法の適用により改良時間を約 18%短縮した。図-6 に土留め壁部のコアを示す。全長において良質なコアが採取されており、フェノールフタレイン溶液の反応が明確に確認できる。コア採取率は 100.0% であり、目安の水準である 90% 以上を満足する結果であった。図-7 に頭部コアの一軸圧縮強さの分布と変動係数を示す。一軸圧縮強さは、すべての供試体で目標強度である 0.28MPa を満足する結果であった。変動係数は 22.8% であり、従来型 WILL 工法の標準値である 25~30% と比べて同等以上の品質が確保できている。

4. まとめ

従来型 WILL 工法に新たに上部高圧吐出機能を追加することで攪拌性能を大幅に向上させた WILL-m 工法を開発した。農業用水用の機場下部工の構築工事において切梁支保工を必要としない自立式の地盤改良土留めを採用し、その構築に WILL-m 工法を適用した。その結果、従来型 WILL 工法に対して、施工時間を約 18%短縮し、従来型 WILL 工法と同等以上の品質を満足することが確認できた。また、切梁支保工を必要としない自立式の地盤改良土留めの適用により、構造物構築の工程を大幅に短縮できた。今後は WILL-m 工法を広く展開するとともに、地盤改良土留めのさらに合理的な形式について検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 西尾竜文, 足立有史, 木村誠, 小林司, 市坪天士 : 改良型 WILL 工法の開発, 土木学会建設技術発表会 2020, 2021.
- 2) WILL 工法協会 : WILL 工法技術・積算資料, 2016.

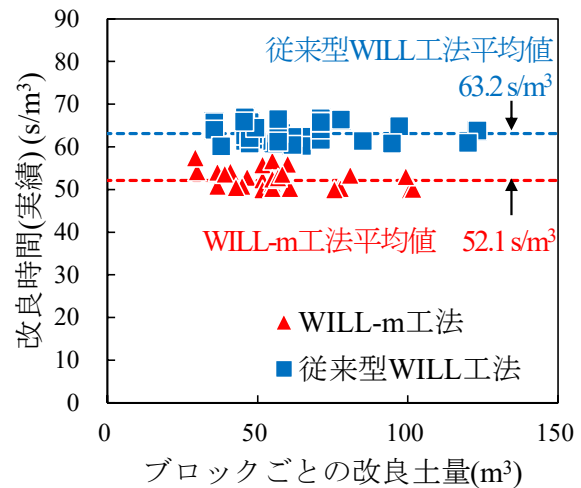


図-5 改良時間の実績

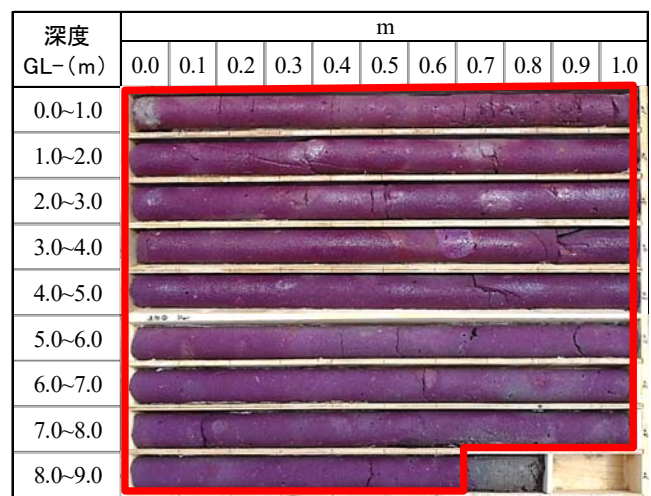


図-6 土留め壁部の採取コア

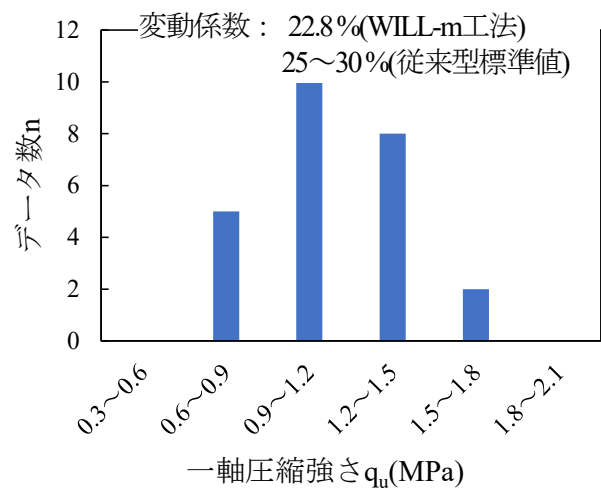


図-7 頭部コアの一軸圧縮強さの分布と変動係数