

急速ソイルセメント地中連続壁工法

＝気泡掘削工法によるソイルセメント地中連続壁の急速施工技術＝

早稲田大学 赤木 寛一 / 戸田建設㈱ 田中 孝
 前田建設工業㈱ 安井 利彰 / 西松建設㈱ 吉野 修
 (有)マグマ 上原 精治 / 太洋基礎工業㈱ 中田 寛
 ㈱地域地盤環境研究所 小野田浩二

1. はじめに

道路や鉄道の開削トンネルやビルの地下部での工事等で広く用いられるソイルセメント地中連続壁工法は、均質な壁体を造成し、かつ、確実に芯材を挿入するためにソイルセメント混合土に高い流動性を持たせる必要があり、造成する壁体積の70～100%もの固化材スラリーを添加する。その結果、固化材スラリーの添加量に相当する排泥土量が発生し、大きな環境負荷となる。一方、ソイルセメント地中連続壁に使用する施工機械はクローラタイプの大型機であり、市街地での施工は、騒音・振動の発生による周辺環境への影響が大きく、併せて地上用地の長期占用に対して工事期間の短縮が望まれていた。

筆者らは、これらの課題に対し、気泡掘削工法の併用と合理的な施工法により、環境負荷の低減と大幅な工期短縮を実現する急速ソイルセメント地中連続壁工法「AWARD-Para工法(AWARD-Parallel Processing Method)」を早稲田大学と気泡工法研究会にて共同開発した。本稿では、工法概要および特徴を示すと共に、本工法の有効性を検証するために実施したフィールドでの試験施工について紹介する。

2. 工法概要

2-1 気泡掘削工法の概要と特徴⁽¹⁾

気泡掘削工法は、気泡の特徴を利用し地盤を掘削する工法である。土と気泡を混合した気泡混合土（気泡安定液）（写真1、写真2）は以下に列記する(1)から(4)の効果により、品質と施工性の向上が図れる。従来工法では施工が難しい地盤でも対応が可能になる場合もある他、排泥土量が大幅に削減できるため環境負荷低減が図れ、さらに施工サイクルの短縮や固化材量の削減が可能のため、コスト縮減も期待できる。

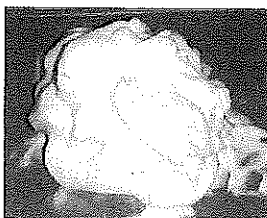


写真1 プレフォーミング気泡

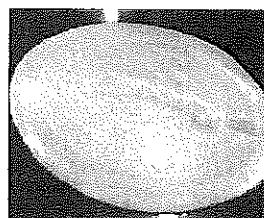


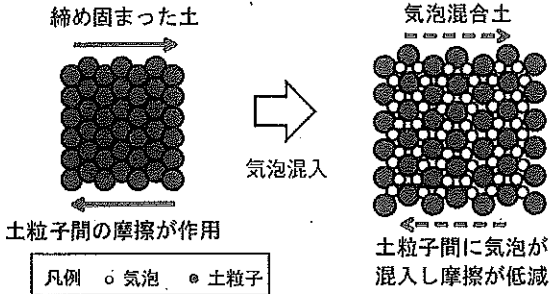
写真2 気泡混合土

(1) ベアリング効果

気泡は掘削時に土粒子間に気泡が混入してベアリングの役割を果たすため、加水量を低減しても高い流動性が得られる（第1図）。

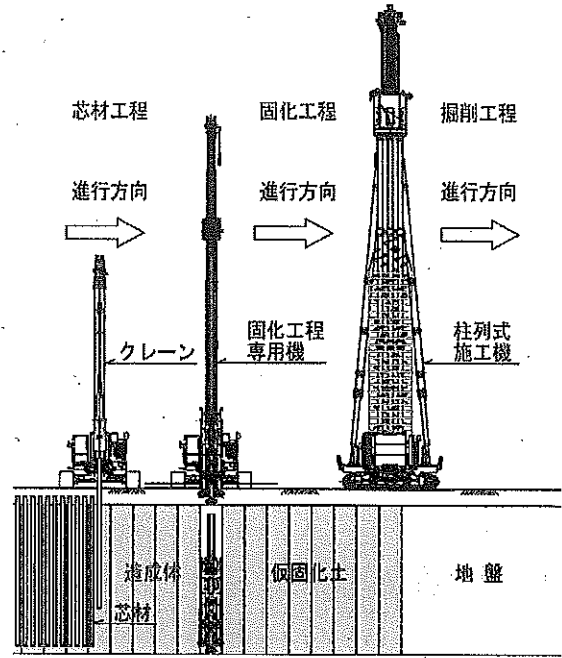
(2) 不飽和層形成

掘削した溝壁面に、微細な気泡が貫入して不飽和層を迅速に形成し、不透水層が造成されて、溝壁の安定性と止水性が確保される。



第1図 ベアリング効果概念図

の芯材工程を一連作業として繰り返し施工していた。AWARD-Para工法は、これら三つの工程を分離して並行的な作業とする(第3図)。



第3図 AWARD-Para工法概要図

前記の気泡掘削工法の特徴に加えて、以下にAWARD-Para工法における特徴を示す。

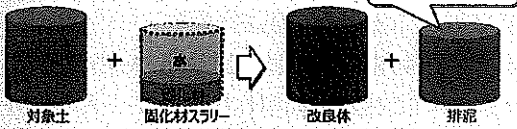
(3) 固化材量の低減

気泡の添加により加水量が低減できるため、固化材スラリーの水セメント比(W/C)が抑えられ、少ない固化材量でも所定の強度を有する壁体の造成が可能になる。

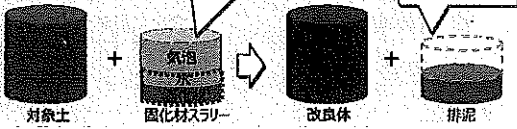
(4) 排泥土量の削減

気泡混合土に消泡剤を添加すると、気泡は集積・浮上して消泡し減容化できる(第2図)。

◆従来施工法



◆気泡掘削工法



第2図 排泥減容化メカニズム図

2-2 急速ソイルセメント地中連続壁工法の概要と特徴⁽²⁾

AWARD-Para工法は、気泡掘削工法の特徴を活かし、工期短縮と環境負荷低減を実現したソイルセメント地中連続壁の急速施工法である。

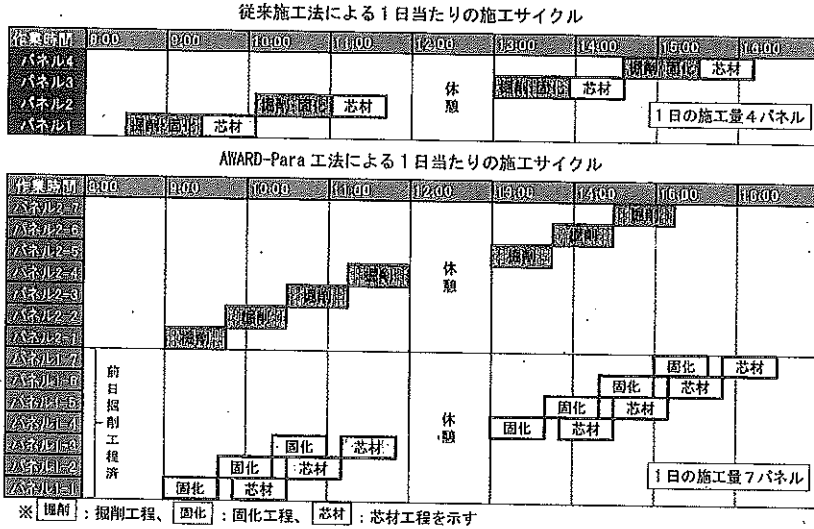
従来の施工方法では、掘削・固化材スラリーの添加・混練の掘削工程、引上げ・固化材スラリーの添加・混練の固化工程および芯材建込み

(1) 施工機械の稼働率向上

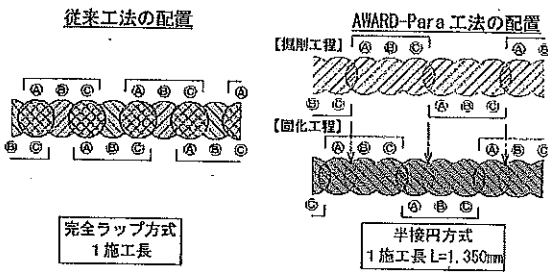
AWARD-Para工法は掘削、固化、芯材工程に分離することで施工サイクル時間が短くなり、かつ、並行作業とするため、施工可能時間をほぼ余すことなく施工に割り付けられ、施工機械の稼働率が向上する(第4図)。

(2) パネル間ラップ長の低減

従来の柱列式ソイルセメント地中連続壁工法の場合、パネル間のラップは3軸のうち1軸を完全ラップさせる。これに対してAWARD-Para工法は、3軸の端部を部分的にラップさせた半接円方式とする(第5図)。掘削工程と固化工程の分離により、掘削工程の半接円箇所を固化工程の3軸でオーバーラップして施工するため壁体の連続性は確保される。



第4図 施工サイクル比較例



第5図 パネル配置比較図

工程を分離し並行作業とするためには、固化工程の専用機を開発する必要があった。従来の施工法に比べ施工機械が1台増加になるため、コンパクトで安価な固化工程専用機の開発を目指した。固化工程の施工機械として求められる性能は以下のとおりである。

- ① 仮固土（低強度に固化させた気泡混合土）に対する掘削性能

(3) 溝壁の安定と施工品質の確保

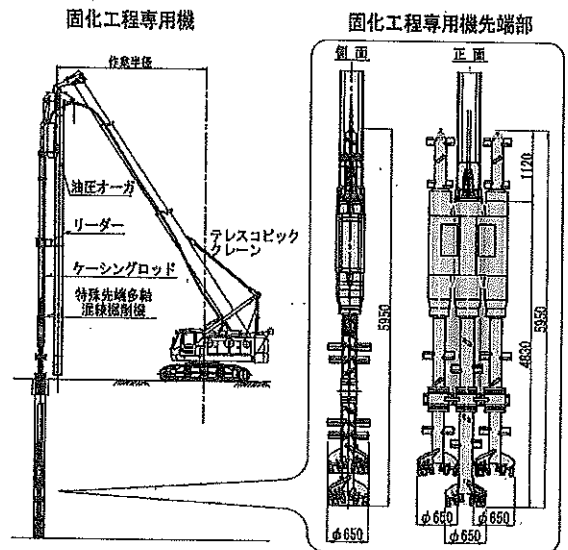
掘削工程で貧配合した固材スラリーを添加して気泡混合土を低強度に仮固化することで、固化工程時に消泡剤を添加した固材スラリーの拡散を防止でき、溝壁の安定と品質が確保される。また、気泡添加によるベアリング効果と掘削・固化工程での2度の掘削・混練により、掘削・引上を速めても、従来と同等以上の攪拌効果が得られる。

(4) 工期短縮

施工機械の稼働率の向上、パネル間ラップ長の低減によって、施工量が増大し、大幅な工期短縮が図れる。

2-3 固化工程専用機

ソイルセメント地中連続壁工法の三つの施工

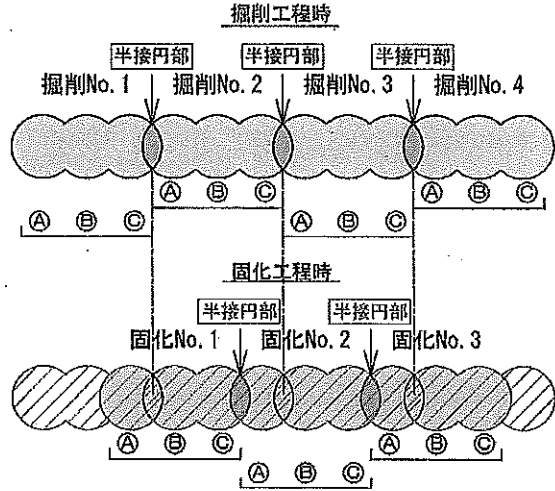


第6図 固化工程専用機概要図

- ② 施工精度 (掘削工程使用機と同等)
- ③ 掘削、貫入抵抗に対する姿勢制御
- ④ 施工速度 (掘削工程と同等以上)

固化工程専用機は、油圧式クレーンをベースマシンに、ブーム先端に油圧モーターを備えた懸垂式のリーダーを装着するアボロン工法と先端多軸掘削機を組み合わせた施工機械とした(第6図)。駆動力はアボロン工法の油圧モーターとすることで、地盤に応じて選択が可能である。また、施工時はリーダーがガイドになり鉛直精度が確保される。

本掘削装置は汎用性が高く、施工機械の組立・解体が簡易であり、三点式杭打ち機をベースとする従来の施工機械に比べ、小型で作業性が良く、機械器具損料を低く抑えることができる。



第7図 試験施工パネル配置図(半接円方式)

3. 試験施工による検証

3-1 試験施工概要⁽³⁾

AWARD-Para工法の有効性を検証するため、柱列式ソイルセメント地中連続壁を対象に、フィールドにて試験施工を実施した。掘削工程は、本来、従来の施工機械を用いるが、試験施工では代替として固化工程専用機を用い、固化工程に先行して仮固化させた気泡混合土を造成した。翌日に固化工程と芯材工程を実施した。

試験施工の概要を以下に示す。

(1) 施工概要

- 施工深度 : GL-1.5~10m (造成高H=8.5m)
- 施工数量 : 掘削工程 ϕ 650mm、4パネル
- 固化工程 : ϕ 650mm、3パネル
- 杭配置 : 半接円方式 (第7図)

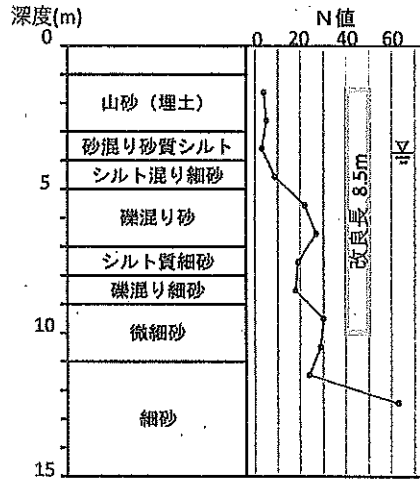
(2) 地盤条件

試験施工の対象土質は第8図に示すようにN値が概ね10~30の砂質土である。

(3) 使用機械

固化工程専用機的主要仕様を下記に示す。

- ベースマシン : 50tテレスコクレーン
- 油圧モーター : トルク、最大61.6kN・m
- リーダー : □330mm、L=17.5m



第8図 試験施工地盤条件図

- 先端多軸掘削機 : ϕ 650mm、H=5.95m

(4) 試験施工時の基本配合⁽⁴⁾

事前に実施した配合試験結果から試験施工時の基本配合を設定した(第1表)。

第1表 試験施工配合表

ケース	掘削工程 (仮固化土)			固化工程	
	気泡添加率	固化材量	水固化材比 (W/C)	固化材量	水固化材比 (W/C)
1	0.5%	70kg/m ³	120%	80kg/m ³	110%
2	0.5%	45kg/m ³	180%	105kg/m ³	80%

3-2 試験施工結果⁽⁵⁾

本工法の現場適用性の検証を目的にフィールドにて実施した試験施工の状況を写真3、先端多軸掘削機を写真4、試験結果を以下に示す⁽³⁾。

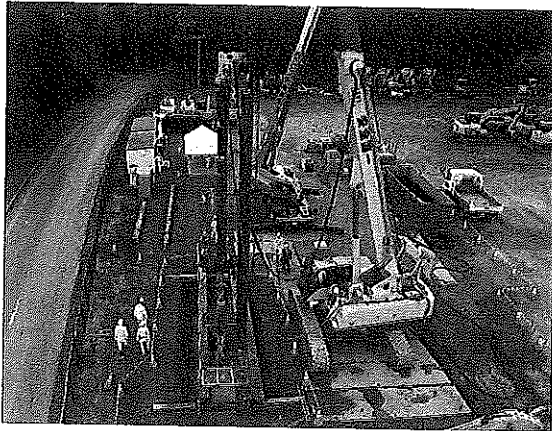


写真3 フィールド試験施工状況

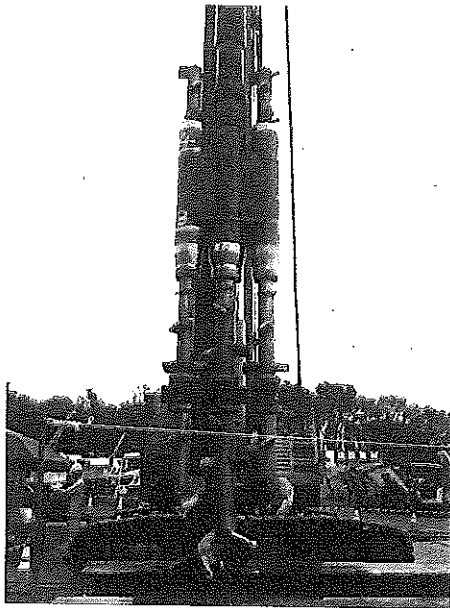


写真4 先端多軸掘削機

(1) 掘削工程

掘削工程では、半接円方式のパネル配置とし、気泡と固化材スラリーを注入して地盤を掘削する。固化工程専用機の掘削・引上速度、トルクおよびオーガの回転速度を第2表に示す。

第2表 掘削性能測定結果一覧表 (掘削工程)

施工位置		掘削No.1	掘削No.2	掘削No.3	掘削No.4
平均施工速度 (m/min)	掘削時	0.66	0.98	0.68	0.64
	引上時	1.68	2.44	2.35	2.02
平均トルク (kN・m)	掘削時	37.9	47.9	45.7	46.2
	引上時	36.0	44.9	37.3	45.2
平均回転速度 (rpm)	掘削時	17	12	18	14
	引上時	12	14	12	13

掘削工程のトルクは装備能力の80%以下、回転数は70%以下で、引上速度は目標値の2.0m/minを概ね満足した。

なお、気泡混合土の性状については、密度は1.57 kN/m³ (平均) で配合設計に近似し、テーブルフロー (TF) 値は概ね180mm以上で、混合攪拌に必要な流動性は確保されていた。

(2) 固化工程

圧縮強度23.2~47.3kN/m² (フレッシュサンプリングによる) の仮固化土を掘削・混練 (貫入・引上) した時の施工速度、トルクとオーガの回転速度を第3表に示す。掘削・貫入速度は平均1.00m/minであり、引上速度は目標値2.0m/minと同程度の平均1.92m/minであった。掘削・引上時のトルク値は掘削工程時と大きな差はなかった。

第3表 掘削性能測定結果一覧表 (固化工程)

施工位置		固化No.1	固化No.2	固化No.3
平均施工速度 (m/min)	掘削時	1.15	0.94	0.90
	引上時	2.21	1.83	1.73
平均トルク (kN・m)	掘削時	50.8	45.1	41.9
	引上時	39.8	45.1	44.8
いきん	掘削時	18	19	15
	引上時	11	13	13

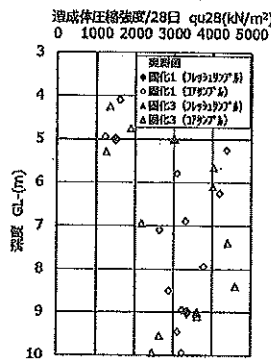
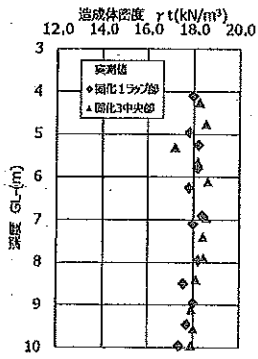
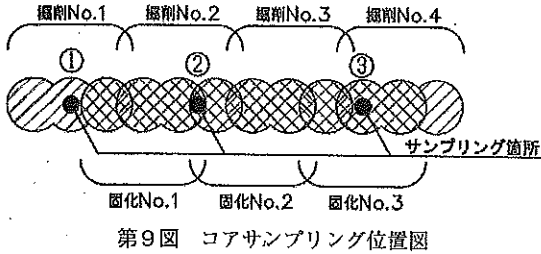
掘削・固化工程も含めた両施工時の鉛直精度は、平均偏心量が壁軸方向で43mm、壁軸直角方向で14mm、傾きが概ね1/150~1/200であった。

固化材スラリー注入攪拌直後のTF値は、芯材の挿入が可能な160mm以上であった。また、ふるい分け試験では9.5mm網目に残留するグマ

は確認されず混合攪拌性は良好であった。

排泥土量は、消泡効果により、従来工法の約30%減であった。

固化工程施工後にコアサンプリングを実施し、溝壁の安定性、半接円部における壁体の連続性および強度を確認した(第9図～第11図)。



- 深度に関わらず密度は概ね一定であり、造成体が均質であった。
- 半接円部およびパネル中心位置での強度は、目標強度の1,000kN/m²以上であった。また、半接円部の壁体の連続性も確認できた。

以上、今回の試験施工に基づく検証結果を第4表に示す。

4. おわりに

AWARD-Para工法はソイルセメント地中連続壁工事に適用でき、気泡掘削工法の併用と合理的な施工法により、環境負荷の低減と大幅な

第4表 試験施工検証結果一覧表

検証項目	検証結果
固化工程専用機の掘削性能	N値30程度の原地盤、仮固化土に対する掘削性能の保有
工期短縮の実現	固化工程専用機による高速施工(掘削1.0m/min、引上1.92m/min)
施工品質の確保	従来と同等の鉛直精度(1/150~1/200程度)
	均質なソイルセメント
	半接円ラップ施工による壁体の連続性
	目標強度を上回る強度(500kN/m ² 以上)
	安定性を保持した仮固化土溝壁
固化材量の削減	約30%削減(従来施工との対比)
排泥量の削減	約30%削減(従来施工との対比)
コスト削減	固化材量、排泥土量削減、工期短縮による削減
環境負荷低減	固化材量、排泥土量削減、工期短縮による削減

工期短縮を実現し、コスト削減が期待できる汎用性の高い工法である。試験施工では施工の高速化および固化材量と排泥土量の削減、品質の確保が検証され、本工法の有効性が確認された。今後、施工実績を積み重ね、技術の確立を図る予定である。

<参考文献>

- (1) 気泡工法研究会：“AWARD-Ccw工法 技術・積算マニュアル(2014.4)
- (2) 田中孝・他：“急速ソイルセメント地中連続壁工法「AWARD-Para工法」の開発”、戸田建設、技術研究報告(2019)
- (3) 田中宏典・他：“AWARD-Para工法のフィールド試験(その1：試験概要)”、土木学会全国大会第74回年次学術講演会講演概要集、VI-640(2019)
- (4) 大山哲也・他：“AWARD-Para工法のフィールド試験(その2：配合試験)”、土木学会全国大会第74回年次学術講演会講演概要集、VI-641(2019)
- (5) 吉野修：“AWARD-Para工法のフィールド試験(その3：施工性・品質の評価)”、土木学会全国大会第74回年次学術講演会講演概要集、VI-642(2019)

(筆者紹介はp.67掲載)