

アワードトレンド

# AWARD-Trend工法

AWARD-Trench cutting in Depth  
(気泡掘削による等厚式連続壁工法)

## 技術・積算マニュアル

(Ver2.0 2014年4月)

平成26年度版

気泡工法研究会

---

## 気泡工法の発展を望む

米倉 亮三  
(東洋大学 名誉教授)



インフラストラクチャーの重要性が再認識されつつあるが、この構築において品質の向上、耐久性の向上、適正な価格と共に自然への環境負荷の少なさは重要な項目です。

気泡工法（AWARD 工法）は地下構造物の構築において“微細な気泡粒”を介在させることにより、品質向上、価格及び環境負荷の低減等に大きな貢献をする工法と思われます。

---

## 気泡工法に期待する

赤木 寛一  
(早稲田大学理工学術院 教授)



土に気泡さらに水を添加し混練した気泡混合土は、流動性と止水性が増加し、密度が減少します。土粒子、水及び気泡を適切に配合した気泡混合土は、各々の密度には大きな差があるにもかかわらず、それらは分離することなく懸濁状態を保ちます。この懸濁物の性質を調べた結果、地中に掘削された溝壁を保持する機能があることが確認されました。また、粘性土と気泡を混練した気泡混合土にセメント系懸濁液を混合すると、土とセメントの混練性が向上し、少ないセメント量でも均質な強度発現が得られます。このような気泡の特性を利用した施工性能の改良とともに、気泡は容易に破泡させることができるので、排泥土量が 1/2～1/3 に減少するので環境負荷が少なくなります。

これらの気泡の特性を最大限に生かした気泡工法は、各種の自然災害に打ち勝つ強靱な国土づくりに資するとともに環境負荷低減に貢献する工法としてますます普及、発展が期待される工法と言えます。

---

気泡工法研究会で開発した工法には、<sup>アワード</sup>AWARD (Air-form WAste Reduction methoD) を冠することになっています。

気泡工法研究会

## 用語の解説

<sup>アワード</sup>  
AWARD工法のマニュアルで用いる用語の定義を以下に示す。

- ・ <sup>アワード</sup>  
**AWARD工法**

AWARD 工法は気泡掘削工法とポリマー安定液工法に大別できる。

- ・ **気泡掘削工法**

掘削時に気泡及び水を加えつつ気泡混合土を造成し、さらに気泡混合土に固化材（消泡剤を添加した）を添加・混練し地下構造物を構築する工法である。使用する施工機械の種類などにより AWARD-Ccw 工法、AWARD-Trend 工法、AWARD-Demi 工法及び AWARD-Csm 工法に分類される。

- ・ **ポリマー安定液工法**

高膨潤性ポリマーを主材料とする安定液を使用し、場所打ち杭を造成する工法であり、AWARD-Sapli 工法と称する。

- ・ <sup>アワード シーシーダブリュー</sup>  
**AWARD- C c w 工法** (AWARD-Continuous columned wall)

気泡掘削工法によるオーガー方式施工機を使用する柱列式ソイルセメント地中連続壁工法。

- ・ <sup>アワード トレンド</sup>  
**AWARD-Trend工法** (AWARD-Trench-cutting-in-depth)

気泡掘削工法によるカッターチェーン施工機を使用する等厚式ソイルセメント地中連続壁工法。

- ・ <sup>アワード デミ</sup>  
**AWARD-Demi工法** (AWARD-Deep-mixing)

気泡掘削工法によるオーガー方式施工機を使用する深層混合処理工法。

- ・ <sup>アワード エッチエスエム</sup>  
**AWARD- H s m 工法** (AWARD-Horizontal multishaft rotating type cutter soil mixing method)

気泡掘削工法による水平多軸回転カッター施工機を使用する等厚式ソイルセメント地中連続壁工法。

- ・ <sup>アワード サプリ</sup>  
**AWARD-Sapli工法** (AWARD-Super absorbent-polymer-liquid)

高膨潤性ポリマー安定液を用いたアースドリル施工機、BH 施工機等による場所打ち杭工法。

- ・ **気泡混合土**

掘削土と気泡及び水を混合した分離の生じない混合物。気泡安定液は狭義の気泡混合土である。

- ・ **気泡安定液**

掘削土に気泡及び水を添加した分離の生じない懸濁液であり、掘削時に必要な溝壁の安定性、流動性及び土砂の保持特性を備えた安定液。

- ・ **気泡**

気泡掘削工法では起泡剤と圧縮空気を起泡プラントで起泡させた気泡を使用する。

- ・ **気泡添加率 Q (%)**

気泡を掘削土に添加する量の指標。土の乾燥重量に対する起泡剤の重量百分率で表す。

$$\text{気泡添加率}Q(\%) = \frac{\text{起泡剤の重量(g)}}{\text{土の乾燥重量(g)}} \times 100$$

- ・ 気泡添加量  $q$  ( $\ell/m^3$ )

気泡を掘削土に添加する量の指標。掘削土  $1m^3$  に対し添加する気泡量( $\ell$ ) で表す。

- ・ 加水量  $n$  ( $\ell/m^3$ )

水を掘削土に添加する量の指標。掘削土  $1m^3$  に対し添加する水量 ( $\ell$ ) で表す。

- ・ 起泡剤

起泡剤は起泡剤原液を既定の倍率で水希釈し使用する。起泡剤の種類として合成界面活性剤や蛋白系起泡剤がある。気泡掘削工法では耐消泡性、起泡性等より WTM 起泡剤（アルキルサルフェート系の合成界面活性剤）を推奨する。

- ・ 起泡剤原液

起泡剤は起泡剤原液を既定の倍率で水希釈し使用する。

- ・ 希釈倍率：起泡剤原液の重量に対する希釈水の倍率を希釈倍率と言い、WTM 起泡原液の使用の場合は 20 倍が標準である。

$$\text{希釈倍率} = \frac{\text{起泡剤の重量 (g)}}{\text{起泡剤原液の重量 (g)}}$$

- ・ 起泡倍率

起泡剤に対するそれを起泡させた気泡の体積比。気泡掘削工法では WTM 起泡剤を 25 倍に気泡させ、比重  $0.04g/cm^3$  を標準気泡として使用する。

$$\text{起泡倍率} = \frac{\text{気泡の体積}}{\text{起泡剤体積}}$$

- ・ 消泡剤

消泡剤は消泡剤原液を既定の倍率で水希釈し使用する。消泡剤の作用は気泡を壊す作用と気泡生成を抑える作用がある。

- ・ 消泡剤原液

シリコンオイル、オイルコンパウンド溶液の各型などがあり、水性の発泡液にはエマルジョン型が適している。

- ・ 消泡剤添加率(%)

消泡剤を掘削土に添加する量の指標。土の乾燥重量に対する消泡剤の重量百分率で表す。

$$\text{消泡剤添加率(\%)} = \frac{\text{消泡剤の重量(g)}}{\text{土の乾燥重量(g)}} \times 100$$

- ・ 消泡率

気泡混合土に消泡剤を添加・混合することにより消泡した気泡の量の指標で、消泡した体積に対する消泡前の気泡の体積百分率で表す。

$$\text{消泡率(\%)} = \frac{\text{消泡前の気泡の体積} - \text{残存気泡の体積}}{\text{消泡前の気泡の体積}} \times 100$$

- ・ 気泡残留率  $v_a$  (%)

ソイルセメント固化体の組成はそれぞれ  $V_s$  (固相)、 $V_a$  (気相) 及び  $V_w$  (液相) からなる組成とし、気相は気泡によるものと仮定する。そのとき、ソイルセメント中の空気量は残留した気泡量となるので、気泡残留率を空気間隙率で表す。

$$v_b = v_a = \frac{V_a}{V_v} \times 100(\%)$$

ここで、 $v_b$ : 気泡残留率(%),  $v_a$ : 空気間げき率(%),  $V_a$ : 空気の体積、 $V_v$ : 土全体の体積

- ・ **排泥比率**

改良対象土量に対する余剰汚泥量の百分率とする。余剰汚泥量は排泥中の気泡を消泡した値を使用する。

- ・ **消泡**

気泡掘削工法では気泡安定液や気泡混合土中の気泡を消泡させるために、気泡安定液等々に消泡剤を添加した固化材スラリーを添加・混練し気泡を消泡させ強度増加等を図る。

- ・ **最小含水比  $w_{\min}$  (%)**

掘削土と気泡を混合した時に消泡が生じない掘削土の最小の含水比。

- ・ **分離含水比  $w_{\text{sep}}$  (%)**

土粒子と気泡と水が分散し懸濁状態を保つ気泡安定液の最大の含水比。

- ・ **最小密度**

溝壁の安定を保つための気泡安定液の最小の密度で  $1.05\text{g/cm}^3$  とする。

- ・ **気泡安定液管理図**

気泡掘削工法における気泡安定液の管理を行う管理図であり、現場で計測する気泡安定液の密度及び TF 値を管理図上にプロットしその状態を判断する。気泡安定液管理図は気泡安定液の密度と TF 値の直交座標上に ①気泡安定液の懸濁安定性に係る最小含水比及び分離含水比、 ②溝壁の安定に係る気泡安定液の密度、 ③掘削に係る気泡安定液の流動性を記入した管理図である。

- ・ **セメント添加率  $C$  (%)**

セメントを掘削土に添加する量の指標。土の乾燥重量に対するセメントの重量百分率で表す。

$$\text{セメント添加率 } C(\%) = \frac{\text{セメントの重量(g)}}{\text{土の乾燥重量(g)}} \times 100$$

セメントスラリーの添加による気泡安定液の含水比  $w_{\text{wc}}$  の増加

$$w_{\text{wc}}(\%) = \frac{W_{\text{wc}}}{W_s} \times 100$$

ここで、 $W_s$ : 土の質量(g)、 $W_{\text{wc}}$ : セメントスラリー中の水量(g)

## 目 次

### 用語の解説

I 設計・施工編	1
1. AWARD-Trend 工法とは	2
1.1 工法の概要	2
1.2 工法の特徴	3
1.3 工法の用途、適用土質	4
2. 使用材料	5
2.1 起泡剤及び消泡剤	5
2.2 材料の安全性	6
3. 施工方法	8
3.1 施工手順	8
3.2 施工機械・設備の構成	9
3.3 使用材料標準使用量	11
4. 施工管理・品質管理	13
4.1 設計図書・要求品質の確認	13
4.2 事前調査の概要	13
4.3 室内配合試験	14
4.4 気泡安定液管理図の作成	16
4.5 施工管理項目	17
II 積算編	18
1. 積算	19
1.1 AWARD-Trend 工法関連プラント	19
1.2 薬剤費	20
1.3 安定液添加剤の変更に伴う工費比較	20
1.4 気泡用全自動プラント機械損料	20
1.5 気泡プラント労務費	21
1.6 特許料	21
1.7 発生泥土量	21
III 参考資料	22
参-1 気泡掘削工法の理論（概要）	23
参-2 気泡安定液管理図	27
参-3 参考文献	31

# I 設計・施工編

## 1. AWARD-Trend 工法とは

### 1.1 工法の概要

AWARD-Trend (**AWARD-Trench cutting in Depth**) 工法はカッターチェーンの先端部から気泡を吐出しながら地山を掘削し、掘削土と気泡の混合体（以下、「気泡安定液」という）により掘削溝を安定させつつ横方向に連続掘進を行う。掘削完了後に気泡安定液に改良材（消泡剤を添加した固化液スラリー）を添加・攪拌してソイルセメント地中連続壁を造成する。掘削時に気泡を添加混合することにより、余剰汚泥量の大幅な削減、かつ遮水性及び強度面において高品質なソイルセメント地中連続壁の築造が可能となる。

AWARD-Trend 工法は写真 1-1 に示すプレフォーミングした気泡を掘削時にカッターチェーンの先端部から注入しつつ掘削を行い、掘削土と気泡の混合体である気泡安定液を造成し、溝壁の安定を保ちつつ横方向へ掘削を行う。掘削完了後に気泡安定液に消泡剤を添加した固化材スラリーを混合・攪拌すると、気泡は破泡し地上部に排出され、土と固化材スラリーの混合体（ソイルセメント）となる。掘削時に気泡を添加すると流動性が向上するので、加水量は少なく、かつ気泡は施工実績によると凡そ 95%以上が消泡するので、余剰汚泥量の発生量は大幅に減少する。さらに、気泡安定液を介すると土と固化材スラリーの混合性は向上するので、固化材スラリーの水固化材比 (W/C) は 80%程度に低減できるので、固化材量の低減もできる。

気泡安定液はその含水比が適切な範囲にある場合は土粒子と気泡の比重差が大きいにも拘わらず分離はせず、流動性のある懸濁状態を保つ。標準珪砂に気泡を添加し混合した気泡安定液を写真 1-2 に示すが、砂であっても流動性を示す。

気泡安定液は、土粒子、間隙水、気泡から構成されており、掘削溝壁安定化の役割だけでなく、余剰汚泥量の削減や、土粒子の流動性を高めて掘削土の排出を容易し、また掘削機械への土粒子の付着を防ぐ等の特徴がある。

気泡安定液による溝壁安定性は、気泡が地盤の間隙部分に入り込み、地盤の土粒子の骨格と一体となって不飽和化し難透水層を形成することにより、気泡安定液圧が溝壁に伝わることにより達成される。

また、流動性は、土粒子の間粒状な気泡が存在することにより、摩擦力や粘着力を軽減する（ベアリング効果）ものと考えられる。さらに、余剰汚泥中の気泡は地上で薄層に放置すると気泡は消泡するので処理・処分が容易である。

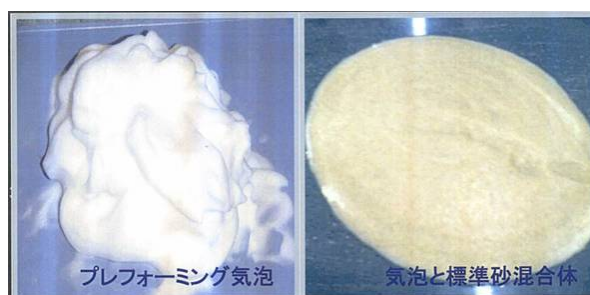


写真 1-1 気泡

写真 1-2 気泡安定



## 1.2 工法の特徴

AWARD-Trend 工法は、以下の特長を有する。

- 1) 余剰汚泥量の低減
- 2) 固化材量の低減
- 3) 施工効率の向上
- 4) 改良体品質の向上
- 5) 環境への負荷低減
- 6) 工事費の低減

AWARD-Trend 工法は、掘削時に気泡を添加し気泡安定液を造成し、これに固化材スラリー（消泡剤の入っている）を加え混合・攪拌し、ソイルセメント地中連続壁を造成する工法である。掘削時に気泡を混合し気泡安定液を介して、ソイルセメントを造成することにより、余剰汚泥量の低減、固化材量の低減等々、以下のような特徴を有する環境配慮型のコストパフォーマンスに優れた工法である。

### 1) 余剰汚泥量の低減

掘削土と気泡を混合・攪拌することにより、砂質土はもちろん、粘性土であっても掘削土塊がほぐれ細粒化する。気泡は土粒子の間に入り込み再付着を防止し、流動性を良くする効果がある。

気泡安定液は流動性が良いので、固化材スラリーの水量を大幅に少なくすることができる（水固化材比 W/C を小さく出来る）と共に、気泡は固化材スラリー中の消泡剤により凡そ95%程度は消泡するので、余剰汚泥の発生量は大幅に少なくなる。

### 2) 固化材量の低減

固化材スラリーは流動性の良い気泡安定液と混合・攪拌するので、水固化材比の小さい固化材スラリーを使用できるので、単位固化材量の低減ができる。さらに、固化材が余剰汚泥となって地上に流出量を抑制できる。

これらの理由により、固化材量の低減が図れる。

### 3) 施工効率の向上

気泡安定液はベントナイト液と比較すると粘性が低く、気泡は攪拌翼と地山の付着を減少させる効果があるので、カッター回転トルク力が低下し機械負荷が軽減する。

施工機の掘削回転トルクが低減するので、高速回転施工が実現でき、施工効率の向上が期待できる。さらに余剰汚泥量が少なくなるので、余剰汚泥貯留用地の縮小が可能となる。

### 4) 改良体品質の向上

掘削土に気泡を添加し混合・攪拌することにより、掘削土塊はほぐれ細粒化する傾向があるので、気泡安定液と固化材スラリーを混合すると、固化材はより均質に混合し易くなる。

その結果、造成した改良体の品質のばらつきが少なくなる。なお、改良体中に残留する気泡量は5%以下であり、かつ単粒であるので透水性が大きくなることはなく、むしろ実績によると透水係数は小さくなる傾向がある。

#### 5) 環境への負荷低減

余剰汚泥処分量が減少するので、運搬車両通行量が減少し、それに伴う騒音振動の低減やCO<sub>2</sub>排出量の削減が可能となる。さらに余剰汚泥はベントナイトを含んでいないので、地山の土砂の状態に復元し易く、処理・再利用が容易である。

#### 6) 工事費の低減

単位セメント量及び余剰汚泥量の削減により、工事費の低減が可能である。

### 1.3 工法の用途、適用土質

AWARD-Trend 工法は、等厚ソイルセメント地中連続壁工法の施工に適しており、カッターチェーンを用いる等厚施工機を使用できる。

- 1) 工法の用途
- 2) 施工深度、壁厚
- 3) 適用土質

#### 1) 工法の用途

ソイルセメント地中連続壁、止水壁等の用途に適用できる。

#### 2) 施工深度、壁厚

施工深度、壁厚は等厚掘進機の種類により表 1-1 となる。

表 1-1 カッターチェーン等厚掘進機の施工深度、壁厚

機 種	施工深度 (m)	壁厚 (mm)
I 型	20	450～550
II 型	35	550～700
III 型	55	550～850

#### 3) 適用土質

一般的な地盤に施工できるが、留意すべき地盤の条件は以下の通りである。

- ・ N 値 60 を超える地盤
- ・ φ100mm を超える径の礫を含む地盤
- ・ 腐植土、土丹、岩盤等を含む地盤
- ・ 被圧水、伏流水のある地盤
- ・ 透水性が高く、逸泥が発生しやすい地盤

## 2. 使用材料

起泡剤及び消泡剤は、気泡による掘削時及び気泡の消泡時に重要な役割を果たすので、それらの選定及び起泡方法には十分注意する。

### 2.1 起泡剤及び消泡剤

#### 1) 起泡剤

起泡剤は、環境負荷が小さい生分解性の合成界面活性剤系である WTM 起泡剤を使用することを標準とする。

#### 2) 消泡剤

消泡剤は、適切な消泡効果を有し起泡剤との相性がよく再起泡防止に優れたものを使用する。

#### 1) 起泡剤

起泡剤には合成界面活性剤系、樹脂石鹼系、蛋白質系等があるが、本工法では環境負荷の少ない生分解性の合成界面活性剤系である WTM 起泡剤を標準起泡剤として使用する。

WTM 起泡剤の特長を以下に、その一般性状を表 2-1 に示す。

- ・ 少量の添加で優れた起泡力を示すので非常に経済的である。
- ・ 微細で独立した気泡が得られ、安定した流動性を発揮する。
- ・ 圧力の変化に対し安定した性能を発揮する。
- ・ 生分解性で環境負荷が小さい。

表 2-1 WTM 起泡剤原液の性状

主成分	アルキルサルフェート系界面活性剤
外観	透明（わずかに淡黄色）液体
匂い	芳香性の微臭
pH (1%水溶液)	6.0~8.5
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.98~1.02
凍結温度 (°C)	-9

注) 安全性等はメーカーの「製品安全データシート」(MSDS) 参照

#### 2) 消泡剤

AWARD-Trend 工法で推奨する消泡剤の特長を以下に、その一般性状を表 2-2 に示す。

- ・ WTM 起泡剤原液と等重量の添加で十分な消泡効果を示す。
- ・ WTM 起泡剤との相性が良く再起泡防止に優れている。
- ・ 消泡効果の持続性に優れている。

表 2-2 消泡剤の一般性状

主成分	鉱物油系配合物
外観	淡黄色液体
匂い	微臭
pH (1%水溶液)	9.0
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.895

注) 安全性等はメーカーの「製品安全データシート」(MSDS) 参照

## 2.2 材料の安全性

起泡剤及び消泡剤の安全性に関する概要を表 2-3～2-6 に示す。

詳細はメーカーの「化学物質安全性データシート (MSDS)」を参照されたい。

### 1) 起泡剤

表 2-3 成分情報

危険有害成分	なし
化学物質管理促進法	該当しない
労働安全衛生法	該当しない
毒物及び劇物取締法	該当しない

表 2-4 危険有害性の要約

最重要危険有害物	なし
有害性	皮膚に対して刺激性がある。
環境影響	生分解性、蓄積性に関する知見は現在のところない
物理的及び化学的危険性	特になし
特定の危険有害性	可燃性液体(消防法 危険物 第4類 第3石油類)

### 2) 消泡剤

表 2-5 成分情報

危険有害成分	なし
化学物質管理促進法	該当しない
労働安全衛生法	該当しない
毒物及び劇物取締法	該当しない

表 2-6 危険有害性の要約

最重要危険有害物	なし
有害性	目、皮膚、呼吸器を刺激する可能性がある。
環境影響	高濃度では水生生物に有害であると推測される。
物理的及び化学的危険性	特になし
特定の危険有害性	可燃性液体(消防法 危険物 第4類 第4石油類)

### 3. 施工方法

#### 3.1 施工手順

AWARD-Trend 工法の施工手順は基本的にカッターチェーンを用いる等厚施工機械による工法の手順に準じて行う。

AWARD-Trend 工法の施工手順を図 5-1 に示す。掘削工はカッターチェーンの先端部から気泡を掘削土に添加しながら掘削を行い、気泡安定液により溝壁を保持しつつ掘削を行う。次に混合工では気泡安定液の再混合を行い掘削土の土塊を細粒化し、気泡との混合性を向上させつつ、掘削位置まで戻る。次に固化工では消泡剤を添加した固化液スラリーを気泡安定液と混合・混練しソイルセメント壁を造成する。気泡安定液中の気泡は消泡剤により破泡し、地上部に排出される。次に、ソイルセメントの硬化が進まないうちに所定位置に芯材の挿入を行う。

これら掘削工、混合工、固化工及び芯材工を繰り返す。

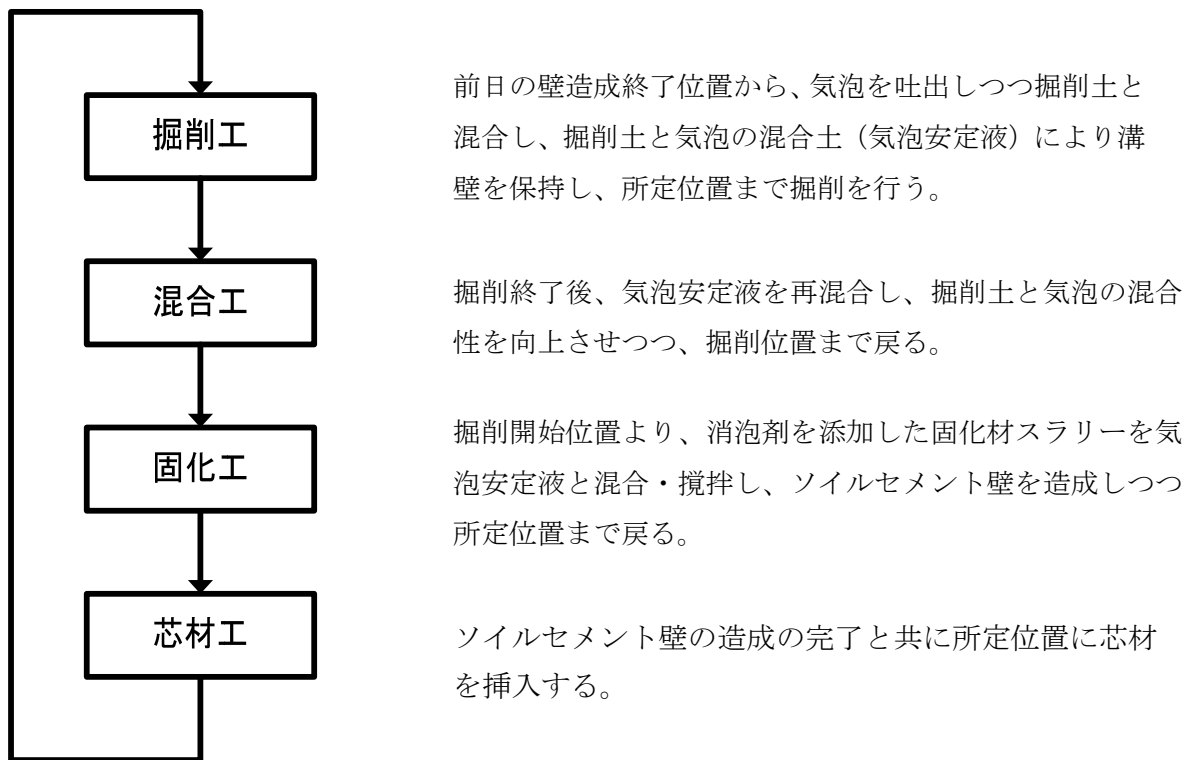


図 3-1 AWARD-Trend 工法施工手順

### 3.2 施工機械・設備の構成

AWARD-Trend 工法では、カッターチェーンを用いる等厚施工機による施工設備に加え、起泡プラントを使用する。

AWARD-Trend 工法で使用する標準機械編成を図 3-2、表 3-1 に示す。

起泡プラントを表 3-1、写真 3-1、カッターチェーンを用いる等厚掘削機の仕様を表 3-2 に示す。

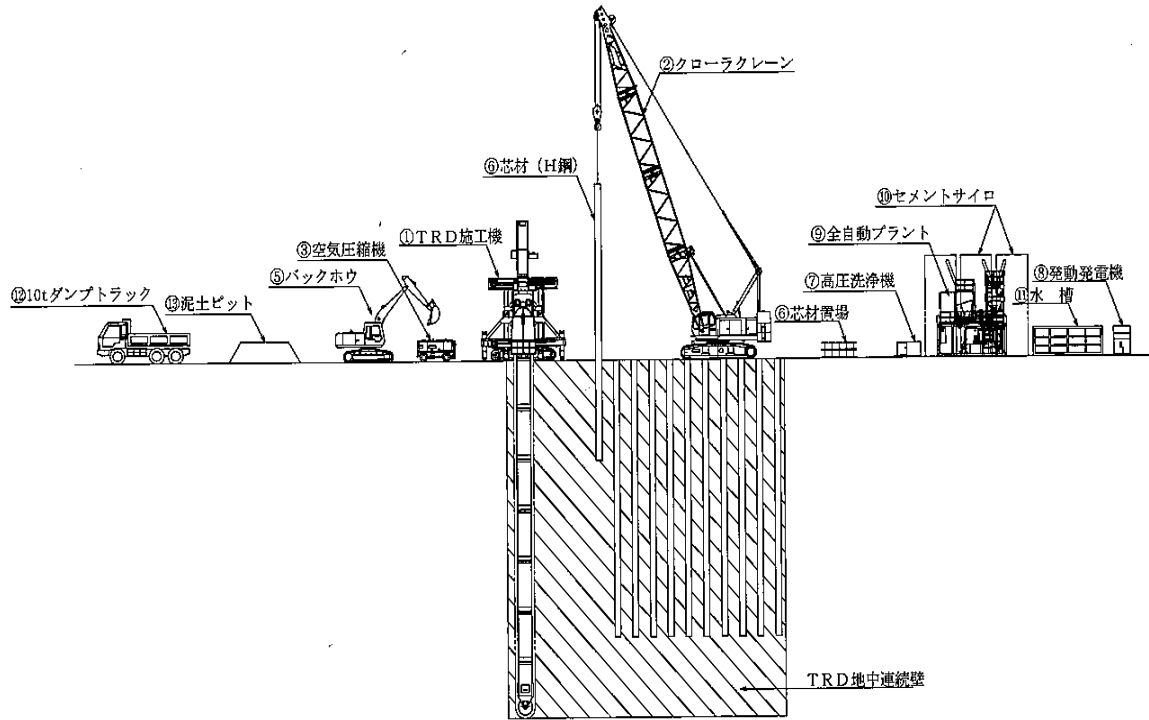


図 3-2 標準施工機械編成

表 3-1 AWARD-Trend 施工機械編成表

No.	名 称	規 格	数 量	摘 要
1	カッターチェーン 施工機		1 台	
2	クローラークレーン		1 台	35m 超は 80 トン以上
3	空気圧縮機	5m <sup>3</sup> /min、0.7N/mm <sup>2</sup>	1 台	
4	発動発電機	100～200kVA	1 台	プラント、セメントサイロ、その他の動力に使用
5	バックホー	0.4m <sup>3</sup>	1 台	残土処理用、泥土処理用、固化処理用
6	起泡プラント	100～600L/min	1 台	気泡の発生器、スキューズポンプ
7	全自動プラント	24m <sup>3</sup> /hr～40m <sup>3</sup> /hr	1～2 台	1 日の造成量により選択
8	セメントサイロ	30t	1～2 台	
9	芯材	H 鋼材等	1 式	
10	その他材料			敷鉄板、高圧洗浄機、水槽、雑材等

#### 1) 起泡プラント

起泡プラントは表 3-2 に示すように、気泡発生機、気泡をカッターチェーン先端に圧送するためのグラウトポンプ、発電機等から構成する。

表 3-2 気泡プラント構成一覧表

	機 械 名 称	規 格	数 量
起泡プラント	気泡発生機	100～600L/min	1
	グラウトポンプ	TS-203	2
	発電機	125KVA	1
	固化材用全自動プラント	24m <sup>3</sup> /h	1
	セメントサイロ（固化材と共通）	移動式 30t	1



図 3-2 気泡発生機

## 2) カッターチェーンによる等厚施工機械仕様



カッターチェーンによる等厚施工機械はⅠ型機、Ⅱ型機、Ⅲ型機があり、掘削深度、掘削幅に応じて、これらの機械を使い分ける。

表 3-3 等厚施工機械一覧表

Ⅰ型機	本体	
	掘削性能	
Ⅱ型機	本体	全装備重量 99.9 t
		平均接地圧 141.0 t ~161.0 t
		最大接地圧 437.0 t
	掘削性能	掘削最大深度 35.0m
		掘削幅 550~700
Ⅲ型機	本体	全装備重量 99.5 t
		平均接地圧 140.0 t ~169.0 t
		最大接地圧 426.0 t
	掘削性能	掘削最大深度 60.0m
		掘削幅 550~850mm
鉛直性管理装置		カッターポストフィルムモニターシステム

### 3.3 使用材料標準使用量

起泡剤は AWARD-Trend 工法に使用する気泡は、圧力変動に強い WTM 起泡剤を使用することが望ましい。気泡の適切な添加量、固化材使用量は掘削土質により異なるので、施工に先立ち室内試験により定める。

- 1) 気泡剤使用量
- 2) 固化材使用量

AWARD-Trend 工法では、気泡安定液は掘削底から地上部まで混合・攪拌するので、気泡は圧力変動に強いことが必要であり、WTM 起泡剤を使用すること推奨する。

起泡剤使用量や固化材使用量は掘削土質により異なるので、各々の使用量は施工に先立つ混練試験により定めるが、表 3-4 では実績に基づく標準的な使用量を示す。

1) 起泡剤使用量

表 3-4 起泡剤使用量（掘削土 1m<sup>3</sup> 当たり）

土質	気泡添加率(%)	加水調整(%)
粘性土	0.5～2.0	0～100L
一般土	1.0～2.0	0～100
砂、砂礫	1.0～2.0	0～100
玉石、岩砕	1.0～2.0	0～100

2) 固化材使用量

表 3-5 消泡材入り固化液の配合 掘削土 1m<sup>3</sup> 当り

土質	固化剤種類	固化剤添加量 (kg)	W/C (%)	消泡剤添加量 (kg)	
粘性土	高炉セメント B種	220～250	60～100	0.3～1.6	起泡剤 原液比 1 : 1
一般土		180～250		0.5～1.8	
砂、砂礫		180～250		0.6～2.0	
玉石、岩砕		180～250		0.7～2.0	

## 4. 施工管理・品質管理

AWARD-Trend 工法では、気泡安定液を施工中の比重とテーブルフロー値（以下 TF 値）により管理する。管理範囲は土質により異なるため、施工前に対象範囲で採取した地盤材料を用いて実施する室内試験結果を用いて施工管理図を描き、管理範囲を決定する。

AWARD-Trend 工法では施工前に掘削土質の物性値を把握し安全な施工を実施するために表 4-1 に示す各種の土質試験を実施する。これらの値を用いて第 4-4 節に述べる気泡安定液管理図を描き、気泡安定液の比重と TF 値の管理範囲を決める。施工管理はこの管理図に気泡安定液比重及び TF 値を記入し、気泡安定液の状態を把握し、規格値から逸脱する可能性があるときは、気泡の添加量及び水の添加量により調整を行う。

### 4.1 設計図書・要求品質の確認

等厚ソイルセメント地中連続壁の壁体に要求される品質は特記仕様書に従うものとする。目標値が定められていない場合は表 4-1 に示す一般値を参考に安全率を考慮して設定することが望ましい。

表 4-1 に標準的なソイルセメント地中連続壁の要求品質を示す。

表 4-1 要求品質一般値

項目	設定値	試験材令	備考
一軸圧縮強さ	500kN/m <sup>2</sup>	28 日	特記仕様に従う
透水係数	1.0×10 <sup>-6</sup> cm/s	28 日	特記仕様に従う

### 4.2 事前調査の概要

施工計画時に、ボーリング等により改良対象範囲の土質試料を採取し、室内試験を実施する。特に、深度方向で土質が異なる場合は、各土質の試料を採取する。なお、採取量は、原則として全層、または、層別に必要数量を採取する。

#### 1) 室内試験項目

改良対象範囲の土質性状を把握し、最適な配合設計を実施するため、表 4-2 に示す室内試験を行う。なお、採取した試料は 10mm オーバーを除去したのち、各試験を実施する。

表 4-2 土質試験一覧表

項 目	基準類	備 考
土粒子の密度試験	JIS A 1202:2009	
土の含水比試験	JIS A 1203:2009	
土の粒度試験	JIS A 1204:2009	
土の細粒分含有率試験	JIS A 1223:2009	
土の液性限界・塑性限界試験	JIS A 1205:2009	
土の湿潤密度試験	JIS A 1225:2009	
土懸濁液の PH 試験	JGS 0211-2009	腐植土を対象
土の強熱減量試験	JIS A 1226:2009	腐植土を対象

## 2) 現地土のサンプリング

配合試験に用いる試料は対象土層に適したサンプリング方法で採取する。

なお、採取は基本的に全層または、層別に必要数量を採取する。

採取土量は配合試験ケースに応じた必要土量を採取する。表 4-3 に必要土量の参考値を示す。

表 4-3 試験配合必要土量参考値

試験項目	試験配合数	必要土量 (cm <sup>3</sup> )	
土質試験	湿潤密度・粒度・含水比・密度・液塑性	1000	21400
第 1 混合試験	6 配合×1000cc	6000	
第 2 混合試験	供試体作成 9 配合×6×200cc	10800	
	ブリージング率測定 9 配合×200cc	1800	
	TF 値測定 9 配合×200cc	1800	

※ 必要土量は再試験も考慮し上記の 2 倍を確保

## 4.3 室内配合試験

AWARD-Trend 工法の配合は、施工に先立って室内配合試験を実施し、掘削時の気泡添加率及び固化時の固化材の添加量、種別、水セメント比、消泡剤量等を決める。

- 1) 第 1 混合試験：掘削・混合時の気泡添加率
- 2) 第 2 混合試験：固化時の固化材添加量、固化材の種別、消泡剤量

AWARD-Trend 工法の室内配合試験のフロー図を図 4-1 に示す。

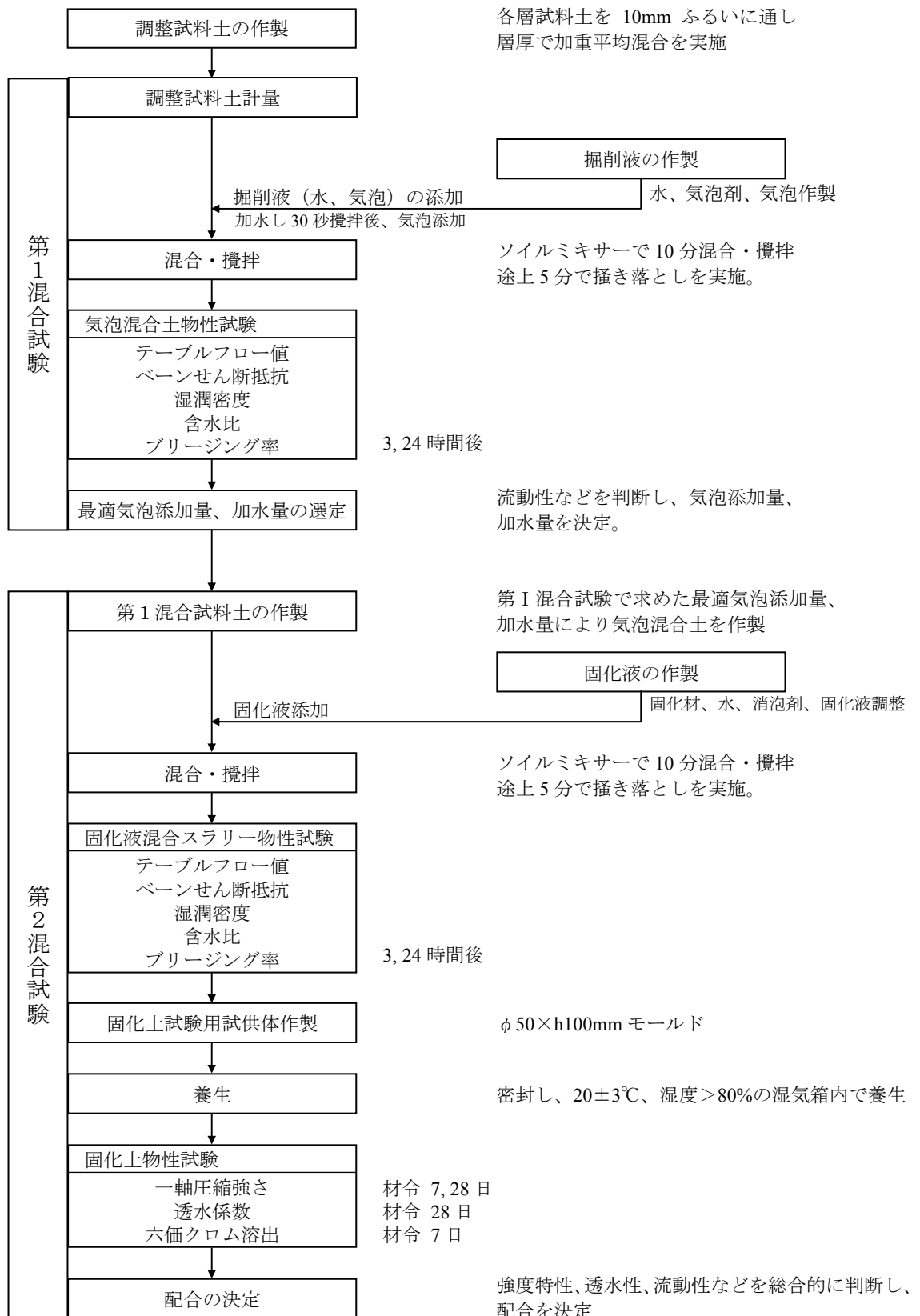


図 4-1 AWARD-Trend 工法の室内配合試験フロー図

#### 4.4 気泡安定液管理図の作成

安定した掘削管理を行うために、掘削土の土性値を用いて気泡安定液の密度と TF 値の直交座標軸上に 4 種の管理項目をプロットした気泡安定液管理図を作成する。

##### 1) 気泡安定液管理図

気泡安定液の管理図(TF 値と単位体積重量の関係)を図 4-2 に示す。また、図 4-2 に示した領域番号に対応する管理方法を表 4-4 に示す。

掘削時の気泡安定液の状態は施工現場から気泡安定液を採取し、密度  $\rho_c$  と TF 値を計測し、図 4-2 の気泡安定液管理図にプロットする。性状が不安定な場合は、表 4-4 に示す領域に対応する対策を講じる。管理図の描き方は、参-2 を参照されたい。

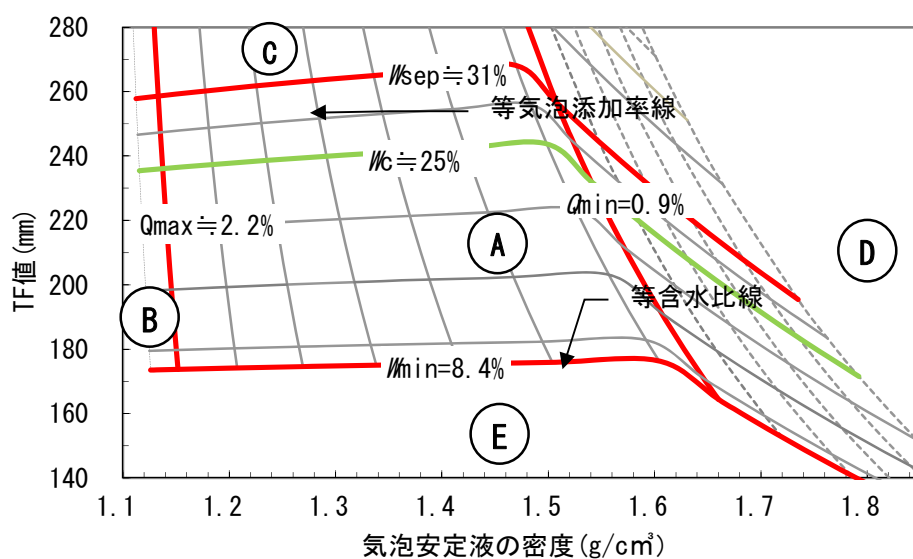


図 4-2 気泡安定液管理図

表 4-2 気泡安定液の状態と対処法

領域	気泡安定液の状態
①	気泡安定液の密度及び TF 値が①の領域内にあるときは安定した施工が可能である。
②	②の領域では、気泡安定液の密度が小さく、溝壁の崩壊が生じる危険がある。気泡安定液の状態が①から②の境界に近づいたときには、気泡添加量を減少させ密度を増加させる。
③	③の領域では土粒子の分離・沈降が生じるので、①から③の境界に近づいたときは加水量を減少させ、土粒子の分離・沈降を防ぐ。
④	④の領域では TF 値が急激に小さくなり、流動性が損なわれるので、①から④の境界に近づいたときは気泡添加量を増やし流動性を向上させる。
⑤	⑤の領域では気泡の消泡が生じるので、①から⑤の境界に近づいたときは加水量を増加させ消泡を防ぐ。

#### 4.5 施工管理項目

AWARD-Trend 工法の施工管理項目は以下に示すとおりである。

- 1) 改良材（セメントスラリー＋消泡材）の配合
- 2) 起泡材の配合
- 3) 攪拌混合
- 4) 改良体位置
- 5) 改良深度、改良長
- 6) 改良体の品質

##### 1) 改良材（セメントスラリー＋消泡材）の配合

所定の改良材が安定供給され、単位改良杭長毎に所定量投入されることを確認する。セメントスラリーが所定の水セメント比であるとともに、消泡剤が所定量添加されていることを確認する。

##### 2) 起泡剤の配合

所定の気泡が安定供給され、改良体の単位改良長毎に所定量投入されていることを確認する。起泡剤が所定の発泡倍率であることを確認する。

##### 3) 攪拌混合

改良体の単位改良長毎に、攪拌翼昇降速度、攪拌翼回転数が基準を満足していることを確認する。

##### 4) 改良位置

打設位置の確認と鉛直性の確認を行い、所定の位置に打設されることを確認する。

##### 5) 改良深度、改良長

改良体の下端及び上端が所定の深度であることを確認する。

##### 6) 改良体の品質

引上げ完了後に、サンプラーによりウェットサンプリングを行い、比重、（簡易ベーンせん断試験）、一軸圧縮強度により、品質確認を行う。

## II 積算編



## 1. 積算

気泡掘削による等厚ソイル連続壁工法の積算は基本的に、「TRD 工法積算資料」に準じて行う。

本章では AWARD-Trend 工法の適用に際して、付加される積算項目や留意事項を示す。

### 1.1 AWARD-Trend 工法関連プラント

AWARD-Trend 工法の適用に際しては、表 1-1 に示す資機材が必要となる。

表 1-1 使用資機材一覧表（AWARD-Trend 工法関連プラント）の一例

機種名、機種		台数	重量(t)	定格電力(kW)
気泡プラント	全自動専用気泡プラント（空気圧縮機別）	1	1.0	3.5
	空気圧縮機	1	0.5	15.0
消泡プラント	2連ミキサー（2000）	1	0.22	2.2
グラウトポンプ	気泡用グラウトポンプ	1	0.5	7.5
	消泡剤用グラウトポンプ	1	0.065	3.7
発電機	上記資機材用発電機（60kVA）	1	1.2	-

#### 1) 資機材損料

表 1-1 に示す資機材の損料を計上する。

#### 2) 運搬費

表 1-1 に示す資機材の運搬費を計上する。

#### 3) 使用電力

表 1-1 に示す資機材の使用電力を計上する。

#### 4) プラント設置・撤去

表 1-1 に示す資機材の設置・撤去費を表 1-2 に準じて計上する。

表 1-2 プラント設置・撤去歩掛

名称	規格	単位	設置・撤去
世話役		人	2.0
特殊作業員		人	2.0
普通作業員		人	4.0
クローラークレーン運転	油圧駆動式ウインチ・ラチスジブ型 50～55 t 吊	日	2.0

## 1.2 薬剤費

室内配合試験で確認された気泡量に応じた薬剤量にロス率 10%を考慮した量の薬剤費（起泡剤、消泡剤）を計上する。

表 1-3 薬剤

名称	仕様	数量	備考
起泡剤	WTM 起泡剤		ロス率 10%
消泡剤			ロス率 10%

## 1.3 安定液添加剤の変更に伴う工費比較

掘削安定液添加量については 3 パス施工における TRD-A 剤、TRD-B 剤、TRD-C 剤を含まない添加量で比較する。

表 6-1 従来 TRD 工法ベントナイト安定液の添加量と費用

材料名 混合土質	ベントナイト		金額	備考
	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	単価		
粘性土	15	—	—	ロス率 10%
一般土	25		—	
砂・砂礫	50		—	
玉石・岩砕	75		—	

表 6-2 気泡安定液の添加量と費用

材料名 混合土質	起泡剤		消泡剤		金額	備考
	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	単価	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	単価		
粘性土	0.3~1.6	—	0.3~1.6	—	—	ロス率 10%
一般土	0.5~1.8		0.5~1.8		—	
砂・砂礫	0.6~2.0		0.6~2.0		—	
玉石・岩砕	0.7~2.0		0.7~2.0		—	

注) 細粒分含有率 15%未満では、別途細粒分を添加する必要性が発生する。

## 1.4 気泡用全自動プラント機械損料

気泡掘削に於いては TRD 標準機械設備以外に、表 6-3 に示す機械が必要となる。

表 6-3 気泡全自動プラント機械損料算定表

機種	機開出力 (KW)	質量 (ton)	基礎価格 (千円)	標準使用年数 (年)	運転時間 (時間)	年間標準運転日数 (日)	供用日数 (日)	維持修理費率 (%)	年間管理費率 (%)	残存率 (%)	運転1時間当り		供用1日当り		運転1時間換算値		供用1日換算値		
											損料率 ( $\times 10^{-6}$ )	損料額	損料率 ( $\times 10^{-6}$ )	損料額	損料率 ( $\times 10^{-6}$ )	損料額	損料率 ( $\times 10^{-6}$ )	損料額	
全自動起泡プラント	3.7	1.5																	
グラウトポンプ	15	1.0																	
流量計																			

1.5 気泡プラント労務費

表 6-4 気泡掘削労務費

職種	単位	数量
特殊作業員	人・日	1

1.6 特許料

AWARD-Trend 工法の特許料を計上する。

発明の名称：安定液組成物（特許 3 7 2 5 7 5 0 号）

気泡安定液の調整方法と気泡掘削施工法（特許 4 9 7 0 5 4 7 号）

表 1-5 特許料

AWARD-Trend 工法特許料	200 円/m <sup>2</sup>
-------------------	----------------------

1.7 発生泥土量

表 6-7 に気泡掘削土質別概算泥土発生率（暫定値案）を示す。

表 6-7 気泡掘削土質別概算泥土発生率（暫定値案）

土質	泥土発生率 (%)
砂礫質土	40～50
砂質土	50～60
粘性土	60

### III 參考資料

## 参-1 気泡掘削工法の理論（概要）

気泡掘削工法では掘削機の先端から気泡（と水）を吐出し、掘削土、気泡、水の混合した気泡混合土を造成し、気泡混合土に固化材スラリーを添加・混合し所定のソイルセメント地下構造物を構築する。掘削土と気泡の混合・混練した気泡混合土のうち、安定液の特性を備えているものを気泡安定液と称する。

気泡安定液及び気泡混合土の固有の特性は下記の項目である。

- ・ 懸濁状態に関わる気泡安定液の最小含水比  $w_{\min}$  及び分離含水比  $w_{\text{sep}}$
- ・ 溝壁の安定に係る気泡安定液の密度  $\rho_c$
- ・ 施工性に関わる気泡安定液の流動性 TF 値

これらの特性は掘削土の物性値（比表面積  $S$ 、細粒分含有率  $P$ 、細粒分の液性限界  $w_L$ ）と気泡添加率  $Q$  及び気泡安定液の含水比  $w_c$  を変数とした実験式により表すことができる。これらの実験式に掘削土の物性値を入力すると気泡安定液の懸濁状態に関わる実験式、溝壁の安定性に係る各種の実験式や流動性に関わる実験式は、定数や気泡添加率  $Q$  と含水比  $w_c$  の一次式あるいは二次式で表されるので、気泡安定液、気泡混合土は気泡添加率  $Q$  と含水比  $w_c$  を変化させることによりコントロールすることが可能である。

実験的に得られた各種の実験式をまとめると以下の通りである。

### 1) 最小含水比

最小含水比  $w_{\min}$  は式 6-1 で表される。式 6-1 に掘削土の物性値である細粒分含有率  $P$  (%) を代入すると最小含水比  $w_{\min}$  (%) は定数となる。

$$w_{\min}(\%) = 6.97 + 0.0403P \quad (6-1)$$

なお、最小含水比とは掘削土と気泡を混合した時に消泡が生じない掘削土の最小の含水比である。それ故、施工時においては掘削土の自然含水比  $w_n$  が最小含水比以下の場合は、気泡と共に水を添加し、気泡の消泡を防ぐことが必要である。

### 2) 分離含水比

土粒子、気泡及び水が分散し安定した懸濁状態にある気泡安定液に徐々に水を加えると、懸濁状態が崩れ土粒子、気泡、水の分離が生じる含水比が存在する。この懸濁状態が崩れる含水比を分離含水比  $w_{\text{sep}}$  とする。

分離含水比を計測するために、実験は図 6-1 に示す相欠き継手のあるプラスチック円筒（内径 90mm、高さ 100mm）を上下に組み合わせた分離含水比測定装置を使用した。この装置内に各種配合の気泡安定液を満たし、1 時間経過後の上部容器中の気泡安定液質量に対する下部容器中の安定液質量の重量比をとると、重量比が 1.02 を超すと分離が急速に生じることが分った。この実験結果より、分離含水比  $w_{\text{sep}}$  の実験式 6-2 を求めた。

式 6-2 に掘削土の物性値である比表面積  $S$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )、細粒分含有率  $P$  (%) 及び液性限界  $w_L$  (%) を代入すると分離含水比  $w_{\text{sep}}$  (%) は気泡添加率  $Q$  (%) の一次式となる。

$$w_{\text{sep}}(\%) = (0.0253S + 1.17Q + 1.07) \frac{100 - P}{100} + w_L \frac{P}{100} \quad (6-2)$$

分離含水比  $w_{sep}$  は掘削土の土粒子と気泡と水が分散せず懸濁状態を保つ最大の含水比であり、気泡安定液の含水比  $w_c$  が分離含水比以上であると、気泡安定液は分離する。それ故、特に砂質土においては水量を加え過ぎると土粒子、気泡、水が分離し、掘削抵抗は増大し、かつ芯材の挿入にも支障が生じる。

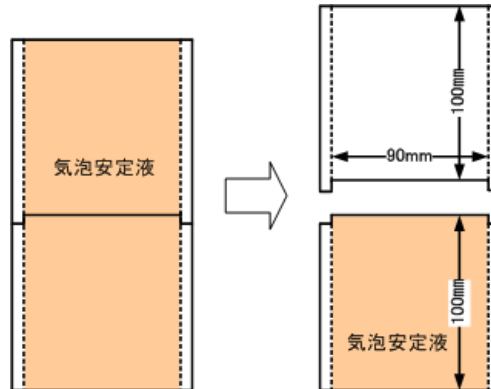


図 6-1 分離含水比測定器

### 3) 気泡安定液の密度

溝壁の安定液に係る気泡安定液の密度  $\rho_c$  ( $\text{g/cm}^3$ ) の理論式は式 6-3 で表される。掘削土の物性値である粗粒分と細粒分土粒子の密度  $\rho_{ss}$ 、 $\rho_{sc}$  ( $\text{g/cm}^3$ )、水と気泡の密度  $\rho_w$ 、 $\rho_b$  ( $\text{g/cm}^3$ ) 及び細粒分含有率  $P$  (%) を代入すると、気泡添加率  $Q$  (%) と含水比  $w_c$  (%) の二次式となる。

$$\rho_c (\text{g/cm}^3) = \frac{W_s + W_w + W_b}{V_s + V_w + V_b} = \frac{100 + w_c + Q}{\frac{100 - P}{\rho_{ss}} + \frac{P}{\rho_{sc}} + \frac{w_c}{\rho_w} + \frac{Q}{\rho_b}} \quad (6-3)$$

気泡安定液の密度  $\rho_c$  は気泡添加率  $Q$  の影響が大きく、およそ  $Q=2.3\%$  の気泡を添加すると密度  $\rho_c=1.05$  となり、これ以上の気泡を添加すると溝壁崩壊の危険が生じる。

### 4) 流動性

砂に気泡を添加し混合すると、その流動性 (TF 値) は気泡添加率  $Q$  が 0~1% までは急激に増加し、それ以上増加させても流動性は変わらない結果が得られた。さらに粘土・シルト分の含有率 (細粒分含有率  $P$ ) の異なる土に気泡を混合した場合の流動性の変化を調べると、細粒分含有率  $P=10\%$  を境界にその傾向が変わること等が分かった。これらを図 6-2、図 6-3 に示す。これらの実験結果に基づき流動性を表す実験式を求めると式 6-4-1~式 6-4-4 となる。

流動性を TF 値で表すと、TF 値 (mm) は細粒分含有率  $P$  (%) が 10 (%) 以上と以下、気泡添加率が 1 (%) 以上と以下の 4 つの領域で各々式 6-4-1~式 6-4-4 で表される。各式に掘削土の物性値を代入すると  $Q$  と  $w_c$  の二次式となる。

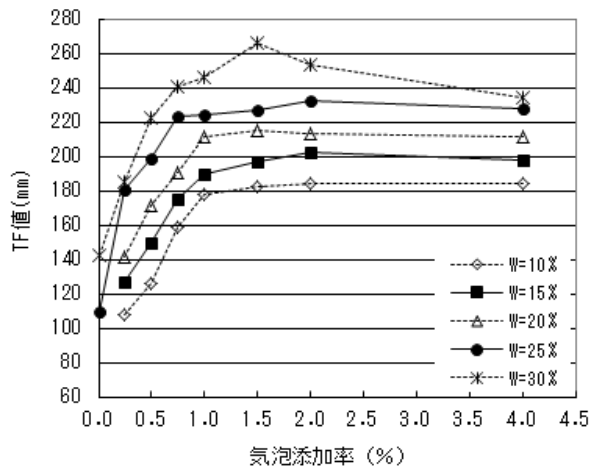


図 6-2 TF 値と気泡添加率の関係

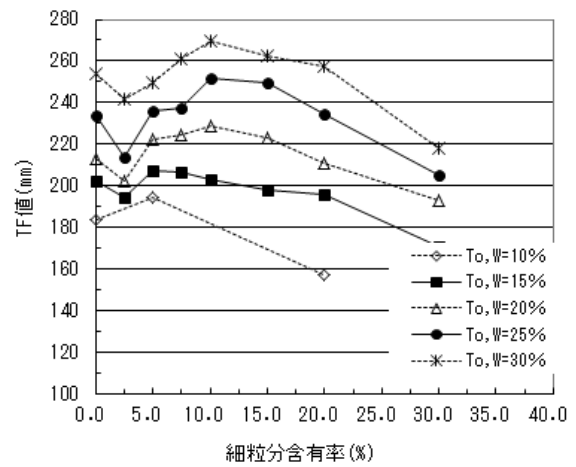


図 6-3 TF 値と細粒分含有率の関係

領域 1 :  $P < 10$ 、 $Q < 1$

$$TF_1 = (-0.78Q + 3.90)w_c + (0.817Q + 0.180)(-0.0422S + 1.71P + 199) \quad (6-4-1)$$

領域 2 :  $P \geq 10$ 、 $Q < 1$

$$TF_2 = (0.200Q + 3.90)w_c + (0.817Q + 0.180)(-0.0363S - 0.601w_L + 196) \quad (6-4-2)$$

領域 3 :  $P < 10$ 、 $Q \geq 1$

$$TF_3 = (-0.231Q - 0.00628w_L + 3.86)w_c + (-0.0422S + 1.71P + 199) \quad (6-4-3)$$

領域 4 :  $P \geq 10$ 、 $Q \geq 1$

$$TF_4 = (-0.257Q + 0.00316w_L + 4.10)w_c + (-0.0363S - 0.601w_L + 196) \quad (6-4-4)$$

## 5) 難透水層の形成

気泡安定液による難透水層の形成に関しては、気泡安定液の透過に伴い気泡は地盤の間隙部分に入り込み、地盤の土粒子の骨格と一体となって不飽和化し、ベントナイト泥膜の数倍の厚さを持った難透水層を形成する。この概念を図 6-4 に示す。

珪砂 7 号～珪砂 3 号により模擬地盤を作り、気泡安定液とベントナイト安定液による透水量と時間の関係を図 6-5、図 6-6 に示す。図から、ベントナイト安定液では珪砂 3 号、4 号では難透水層は形成できないが、気泡安定液では難透水層の形成が確認でき、さらに、難透水層の形成時間が短いことも確認できた。これらのことより、気泡安定液はベントナイト系安定液よりも短い時間で難透水層の形成をなし、かつ粗い砂地盤への適用性が良いことが実験結果より得られた。

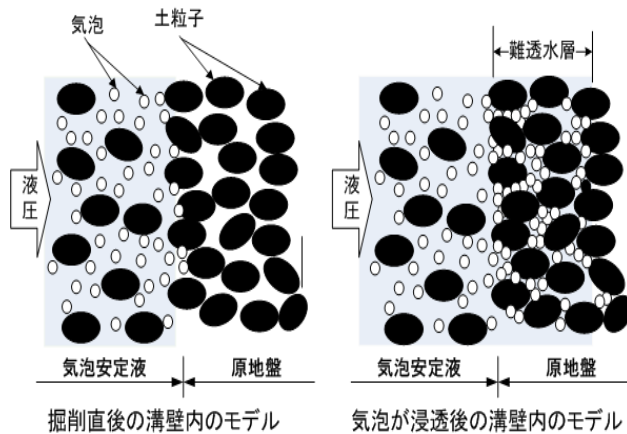


図 6-4 気泡安定液による難透水層形成概念図

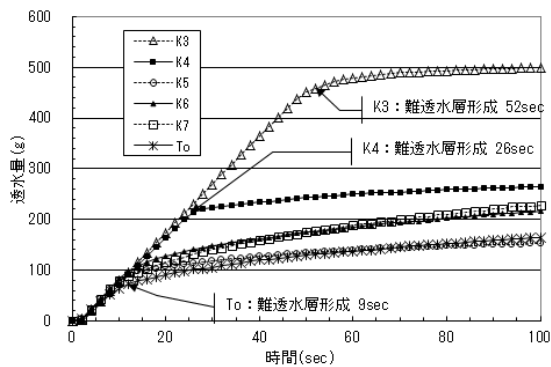


図 6-5 気泡安定液

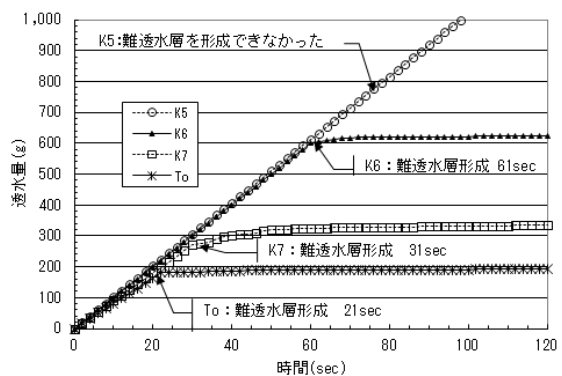


図 6-6 ベントナイト安定液

## 6) 気泡の圧縮変形について

気泡安定液中の気泡の圧縮変形に関する実験によると、気泡の圧縮変形は見かけ上ボイルの法則に従わないことが分かった。即ち、気泡安定液の体積は圧力を受けると一定値に収斂し、この収斂値はボイルの法則による気泡量の圧縮量よりもかなり低いことが判明した。

実験によると砂に  $3500/m^3$  ( $Q \approx 1\%$ ) を添加・混練した気泡安定液の体積圧縮率は、上載荷重が  $0 \sim 0.1MPa$  まではほぼ直線的に減少するが、 $0.1MPa$  を超えると  $1.7\%$  程度で収斂する。気泡添加量は凡そ最大で  $4000/m^3$  なので、実用上は掘削深度が深くなっても気泡安定液の機能上の影響は少ないと思われる。なお、現在 AWARD-Trend 工法では掘削深度  $54m$  の施工実績がある。



## 参-2 気泡安定液管理図

気泡安定液を現場において管理するための方法として気泡安定液の密度  $\rho_c$  と TF 値の直交座標軸上に4種の管理項目をプロットした気泡安定液管理図を提案し、この管理図を使用し掘削状態の良否の判断や掘削状態を常時良好な状態に保つための使用方法を示す。

### 1) 管理項目と管理限界値

気泡安定液の管理項目として

- ・ 安定液の懸濁安定液に係る最小含水比  $w_{\min}$  及び分離含水比  $w_{\max}$
- ・ 溝壁の安定性に係る気泡安定液の最小の密度  $\rho_{c\min}$
- ・ 施工性に係る気泡安定液の最小の流動性  $TF_{\min}$  が挙げられる。

上記管理項目である気泡安定液の含水比  $w_c$  の管理範囲は式 6-5 の最小含水比  $w_{\min}$  と式 6-6 の分離含水比  $w_{\max}$  の間であり、溝壁の安定液に係る気泡安定液の密度  $\rho_c$  の管理限界は式 6-7 で、流動性に係る TF 値の管理限界は式 6-7 で表される。これらの式に掘削土の物性値 ( $P$ 、 $S$ 、 $w_L$ 、 $\rho_{ss}$ 、 $\rho_{sc}$ )、水の密度  $\rho_w$  と気泡の密度  $\rho_b$  をこれらの式に入力すると、定数あるいは気泡安定液の気泡添加率  $Q$  と気泡安定液の含水比  $w_c$  の一次式あるいは二次式となる。

#### ① 消泡より定まる管理限界

気泡安定液の含水比  $w_c$  は気泡の消泡限界を表す最小含水比  $w_{\min}$  より大きく保たねばならないので、含水比の管理限界は式 6-5 で表される。

$$w_c \geq w_{\min} = 6.97 + 0.0403P \quad (6-5)$$

式 6-5 に掘削土の細粒分含有率  $P$  を代入すると  $w_{\min}$  は定数となるので、気泡安定液の含水比  $w_c$  はこの定数以上となるように管理する。

#### ② 分離より定まる管理限界

分離含水比  $w_{\text{sep}}$  は土粒子の分離が生じる最小の含水比であり、分離含水比より定まる管理限界値は式 6-6 で表される。

$$w_c \leq w_{\text{sep}} = (0.0253S + 1.17Q + 1.07) \frac{100 - P}{100} + w_L \frac{P}{100} \quad (6-6)$$

式 6-6 に掘削土の物性値 ( $S$ 、 $P$ 、 $w_L$ ) を代入すると、分離含水比  $w_{\text{sep}}$  は気泡添加率  $Q$  の単調増加関数となる。分離含水比  $w_{\text{sep}}$  を計算するには、 $Q_{\min}$  (式 6-8 より決まる) を代入すると  $w_{\text{sep}}$  が求められる。それ故、掘削時には気泡安定液の含水比  $w_c$  を常時  $w_{\text{sep}}$  以下になるように管理する。

#### ③ 溝壁の安定より定まる管理限界

溝壁安定性に関しては、気泡安定液の密度により管理を行う。管理限界値は土圧、地下水圧に対抗するために、比重 1.05 以上を目標とすることができるので、管理条件は式 6-7 で表

される。

$$\rho_{c\min} = 1.05 \leq \rho_c = \frac{100 + w_c + Q}{\frac{100 - P}{\rho_{ss}} + \frac{P}{\rho_{sc}} + \frac{w_c}{\rho_w} + \frac{Q}{\rho_b}} \quad (6-7)$$

式 6-7 に土の物性値及び含水比を代入すると、最大気泡添加率  $Q_{\max}$  が求められる。

#### ④ 施工性に関わる管理限界

気泡安定液の施工に必要な流動性はソイルセメント地中連続壁の施工においては芯材の挿入性なので、TF 値の最小値を 170mm とする。

TF 値は細粒分含有率  $P$  が 10%以上と以下及び気泡添加率  $Q$  が 1%以上と以下の 4 種の領域  $n(=1, 2, 3, 4)$ において、TF 値の管理条件式は式 6-8 となる。

$$TF_{\min} = 170 \leq TF_n = \alpha_n w + \beta_n \quad (6-8)$$

ここで、 $TF_n$  : 領域  $n(1\sim4)$ の TF 値、 $\alpha_n, \beta_n$  : 領域  $n$  における係数である。

領域	$\alpha$	$\beta$
$P < 10, Q < 1$	$-0.78Q + 3.90$	$(0.817Q + 0.180)(-0.0422S + 1.71P + 199)$
$P < 10, Q \geq 1$	$-0.231Q - 0.00628w_L + 3.86$	$-0.0422S + 1.71P + 199$
$P \geq 10, Q < 1$	$0.200Q + 3.90$	$(0.817Q + 0.180)(-0.0363S - 0.601w_L + 196)$
$P \geq 10, Q \geq 1$	$-0.257Q + 0.00316w_L + 4.10$	$-0.0363S - 0.601w_L + 196$

$\alpha_n, \beta_n$ の推定式に掘削土の物性値 ( $S, P, w_L$ ) を代入すると、 $\alpha_n, \beta_n$ は気泡添加率  $Q$  の一次式あるいは定数となり、かつ  $\alpha_n$ は常時正の値である。したがって、この不等式の等号成立は気泡安定液の含水比  $w_c$  が最小含水比  $w_{\min}$  の時であり、式 6-5 で求めた  $w_{\min}$  を代入して得られた気泡添加率以上に保つことが必要である。この気泡添加率を最小気泡添加率  $Q_{\min}$  とすると、TF 値を所定の管理値以上に保つための管理限界は最小気泡添加率  $Q_{\min}$  となる。それ故、掘削時には気泡添加率  $Q$  を常時  $Q_{\min}$  以上になるように管理する。

#### 2) 気泡安定液管理図の作成及び利用方法

前述のように、気泡安定液の密度  $\rho_c$  (式 6-7) 及び TF 値 (式 6-8) は気泡添加率  $Q$  と気泡安定液の含水比  $w_c$  をパラメーターとした関数である。そこで含水比  $w_c$  を一定値とし気泡添加率  $Q$  を変化させて気泡安定液の密度  $\rho_c$  と TF 値を計算し、 $\rho_c$  と TF 値の直交座標上でこれらの点を結ぶと等含水比線が描ける。同様に、気泡添加率  $Q$  を一定値とし含水比  $w_c$  を変化させて  $\rho_c$  と TF 値を計算し、これらを結ぶと等気泡添加率線が得られる。

この図上に管理限界値である最小含水比  $w_{\min}$ 、分離含水比  $w_{\text{sep}}$ 、最大気泡添加率  $Q_{\max}$ 、最小気泡添加率  $Q_{\min}$  を記入すると、この4本の管理線で囲まれた内部の領域が気泡安定液で安定した掘削が可能な領域となる。土質条件等が表 6-1 の時の、気泡安定液管理図は図 6-7 となる。

表 6-1 土質条件等

密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	粗粒分	$\rho_{ss} (\text{g}/\text{cm}^3)$	2.704
	細粒分	$\rho_{sc} (\text{g}/\text{cm}^3)$	2.704
	水	$\rho_w (\text{g}/\text{cm}^3)$	1.000
	気泡	$\rho_b (\text{g}/\text{cm}^3)$	0.040
粗粒分の50%平均粒径		$D_{s50} (\text{cm})$	0.07
粗粒分の50%粒径の比表面積		$S (\text{cm}^2/\text{g})$ ※1	323
細粒分含有率		$P (\%)$	34.3
細粒分の液性限界		$w_L (\%)$	70.0
気泡安定液の含水比		$w_c (\%)$	25.0

※1 :  $S=10.2 \times 6 / \rho_{ss} D_{s50}$

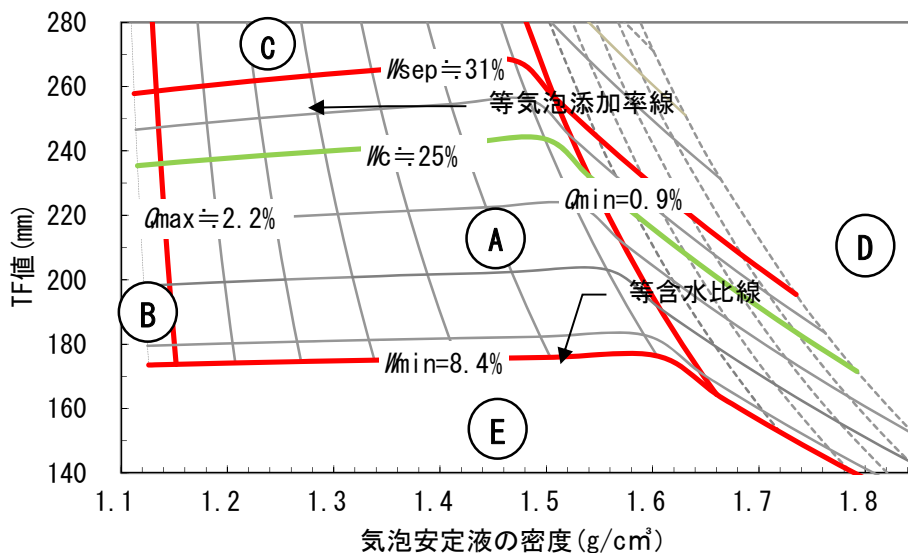


図 6-7 気泡安定液管理図

図 6-7 に示す気泡安定液管理図の利用と対応手順は、下記のように要約することができる。

- ・ 掘削時の気泡安定液の状態は施工現場から気泡安定液を採取し、密度  $\rho_c$  と TF 値を計測し、気泡安定液管理図にプロットする。
- ・ 気泡安定液の密度及び TF 値が A の領域内にあるときは安定した施工が可能である。
- ・ B の領域では、気泡安定液の密度が小さく、溝壁の崩壊が生じる危険がある。気泡安定液の状態が A から B の境界に近づいたときには、気泡添加量を減少させ密度を増加させる。
- ・ C の領域では土粒子の分離・沈降が生じるので、A から C の境界に近づいたときは加水量を減少させ、土粒子の分離・沈降を防ぐ。
- ・ D の領域では TF 値が急激に小さくなり、流動性が損なわれるので、A から D の境界

に近づいたときは気泡添加量を増やす。

- ・ ㊦の領域では気泡の消泡が生じるので、㊤から㊦の境界に近づいたときは加水量を増加させる。

以上のように、掘削時の気泡安定液の管理は気泡添加量と加水量を組み合わせることにより達成できる。

### 参-3 参考文献

- 1) 近藤義正, 中山貴司, 赤木寛一: 掘削土砂に気泡と水を添加した地盤掘削用安定液の開発と適用, 土木学会論文集 C, Vol.64(2008), No.3, pp.505-518, 2008年7月
- 2) 地盤工学会 地中連続壁工法編集委員会: 地盤工学・実務シリーズ 20 地中連続壁工法, pp.3-7, 171-174, 2004年11月
- 3) 堀井陽三, 今野昭三, 大津正良, 塩田堂太郎: 地下連続壁工法, 鹿島出版会, pp.96, 1980年
- 4) コンクリート混和剤の開発技術: 株式会社 シーエムシー, pp.82-87, 2000年11月
- 5) コンクリート材料データブック: 丸善株式会社, pp.115, 2000年5月
- 6) [泡]技術: 工業調査会, 平成12年5月,
- 7) 嘉門雅史, 浅川美利: 新体系土木工学 16 土の力学(1), 技報堂出版, pp.115-157, 1988年
- 8) H. Akagi, Y. Kondo, T. Nakayama and H. Naoe: Cost reduction of diaphragm wall excavation using air form and case record, Proc. 5th International Congress on Environmental Geotechnics, pp.685-692, Thomas Telford, London 2006
- 9) Y. Kondo, T. Nakayama, H. Naoe and H. Akagi: Cost reduction of Diaphragm wall excavation using air form, Proc. 5th International Conference of TC28 of the ISSMGE, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, pp.413-418, Amsterdam, The Netherlands, June, 2005
- 10) 赤木寛一: 気泡材を利用した地盤掘削用安定液の研究開発, 平成16年度~平成17年度科学研究費補助金研究成果報告書, 2006年3月
- 11) 赤木寛一, 近藤義正: 気泡掘削工法, 地盤工学会誌, 60-11(658), November, 2012
- 12) 請川誠ほか: AWARD-Demi 工法の開発(その1: 工法概要), 土木学会第67回年次学術講演会, (社)土木学会, 2012
- 13) 三反畑勇ほか: AWARD-Demi 工法の開発 (その2: 施工試験概要), 土木学会第67回年次学術講演会, (社)土木学会, 2012
- 14) 安井利彰ほか: AWARD-Demi 工法の開発(その3: 施工試験結果), 土木学会第67回年次学術講演会, (社)土木学会, 2012
- 15) 事例にみる地盤の液状化対策 - 被害を防止・修復する工法 -: 株式会社近代科学社, pp.191-198
- 16) 安井利彰ほか: AWARD-Ccw 工法による柱列式ソイルセメント壁の施工, 第47回地盤工学研究発表会, (社)地盤工学会, 2012
- 17) 安井利彰ほか: 気泡掘削工法を適用した柱列式ソイルセメント壁の発生汚泥量低減効果, 第10回地盤改良シンポジウム, (社)日本材料学会, 2012
- 18) 安井利彰ほか: 気泡掘削工法を適用した柱列式ソイルセメント壁の発生汚泥量低減効果, 土木建設技術発表会, (社)土木学会, 2013
- 19) 安井利彰ほか: 気泡を用いた柱列式地中連続壁の施工, 建設機械 2013.12 (投稿中)
- 20) SMW 連続壁 標準積算資料[設計・施工・積算篇], SMW 協会, 2011.2

