

# 各 論 気泡を利用した 地中連続壁掘削用安定液の開発とコスト評価

赤木 寛一\*

## 1. はじめに

現在、地中連続壁工法において広く使用されている地盤掘削用安定液は、ベントナイト安定液、ベントナイトCMC安定液などである。しかし、原料のコストが高い、その混合物が産業廃棄物となるなど、地下構造物の建設コストを高くする原因となっている。そのため原料のコストも安く、また安定液を含んだ土砂の処理が簡単な界面活性剤系の起泡剤を用いた地盤掘削用安定液（以下、気泡安定液と呼ぶ）を開発し、TRD工法などの地中連続壁工法に利用することを目的としている。

ここでは、ベントナイト安定液について用いられている性状管理図を参考に、気泡安定液についての各種の実験結果をもとに作成した同様の性状管理図を紹介する。またこの気泡安定液を、地中連続壁工法に適用した場合に発生するコストを試算し、通常のベントナイト安定液を用いた場合とのコスト比較・評価を行う。

## 2. 気泡安定液とは

気泡安定液に使用する基本材料は起泡剤（界面活性剤）であり、地中連続壁工法では掘削時に発生した土砂と、起泡剤をプレフォームさせた“泡”を混合し気泡安定液を作成する。一言に“泡”といっても、状態に

よってその呼び方はさまざまである。一般に固体または液体において、薄い膜に囲まれた気体粒子の一つ一つを気泡という。また気泡が集まって薄い液体、または固体の膜で隔てられている状態を泡沫と呼んでいる。さらに多数の気泡が、液体または固体中に分散している場合を分散気泡といっている。

図-1に、気泡安定液の作成手順、および実験に利用した気泡と、豊浦砂を混合して作成した気泡安定液の状況を示す。

## 3. ベントナイト安定液の性状管理

ベントナイト安定液については、地中連続壁工法の初期から使用されている性状管理図がある。これを図-2に示す。この図の網目を施した領域は、ベントナイト安定液の性状が良好な領域である。また、斜線領域はベントナイト安定液の性状がやや良好な領域である。図中の番号がふられた領域は、ベントナイト安定液性状が不良な領域であり、それぞれの領域番号に対応する状態・結果・対策を表-1に示す。

つまり、ベントナイト安定液の性状は、比重とファンネル粘性の測定結果をもとにこの図から判断される。その結果をふまえて、表-1の対策にあるように、必要であればベントナイトの配合量を増やしたり、助剤を加えたりしている。

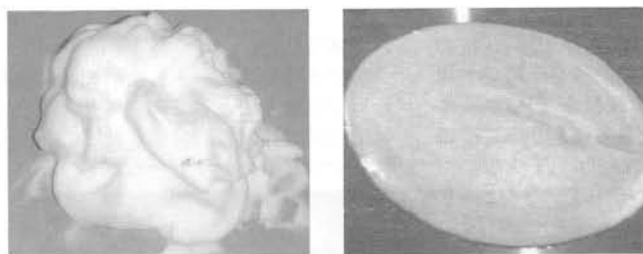


図-1 気泡安定液の性状と作成手順

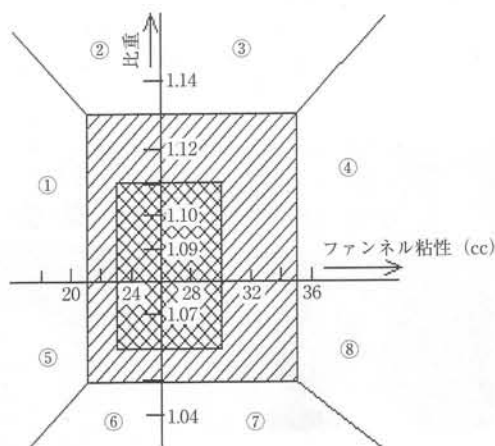


図-2 ベントナイト安定液の性状管理図

\*AKAGI Hirokazu 早稲田大学 理工学部 社会環境工学科 教授, 工博 | 東京都新宿区大久保 3-4-1-58-205

表-1 図-2の領域番号に対応した状態・結果・対策

領域番号	状態	結果
①	粘性不足だがシルト分が多い。	マッドフィルムが厚くなり濾水量も多い。
②	掘削中の土砂分離が悪く、シルト、砂分の混入が多い。	スライムの沈殿が多くなる。
③	泥水は若干ゲル化している。シルト、砂分の混入が多い。	生コンと泥水の置換性が悪い。
④	粘性が高いため比重上昇の心配がある。	ポンプ効率が下がる。鉄筋への付着が多い。
⑤	粘性が低すぎる。	マッドフィルムが薄く崩壊の恐れがある。濾水量も多い。
⑥, ⑦	ベントナイトが不足している。	マッドフィルムが若干弱い。
⑧	CMCが多すぎる。セメントによってゲル化している。	pHが高い。鉄筋への付着も多い。

領域番号	対策
①	分散剤添加後、CMCまたはベントナイトを補充。
②	分離装置の再循環運転、分散剤の添加。
③	分離装置の再循環運転、分散剤の添加。
④	水による希釈。
⑤	ベントナイトとCMCの補給。
⑥, ⑦	ベントナイトを補給。
⑧	pH中和する。ベントナイトを若干補給。

4. 気泡安定液の性状管理

今まで数多くの地中連続壁掘削現場で、有効に利用されてきたベントナイト安定液の性状管理手法に則った形式で、気泡安定液の性状管理図を作成することができればきわめて実用的である。ここでは1例として豊浦標準砂を対象とした単位体積重量とテーブルフロー値による気泡安定液の性状管理図の作成手順を示す。

- ① 気泡安定液についても、ベントナイト安定液と同様な管理指標として比重に相当するものに単位体積重量を、ファンネル粘性に相当するものにテーブルフロー（以下、TFという）値を採用した。単位体積重量は、1lの容器に気泡安定液を入れて重量を測定した。またテーブルフロー値は、台形容器に気泡安定液を入れ、フローテーブルのハンドルを1秒間1回、計15回まわし、流動後の最大直径とそれに直交する直径を測定して求めた。
- ② 気泡安定液の気泡添加率と含水比をパラメータとして、その単位体積重量とTF値を測定した多数の実験結果を取りまとめると、図-3のようになる。図中の横方向の線は含水比 $w$ の等値線を示し、縦方向の線は気泡添加率 $Q$ の等値線を示す。
- ③ 一方、気泡安定液が溝壁の安定保持性能を有する含水比と、気泡添加率の範囲を別途実施した模型実験により決定した。豊浦砂の場合には、その範囲は含水比が6.7~38.4%、気泡添加率は1~2.3%になる。これを図示し、各境界線上で気泡安定液に発生する現象を説明したものが図-4と表-2である。図-4の網目領域が、気泡安定液が溝壁の安定保持性能を有する含水比と気泡添加率の範囲となる。

図-4の境界線を図-3に重ね合わせると、気泡添加

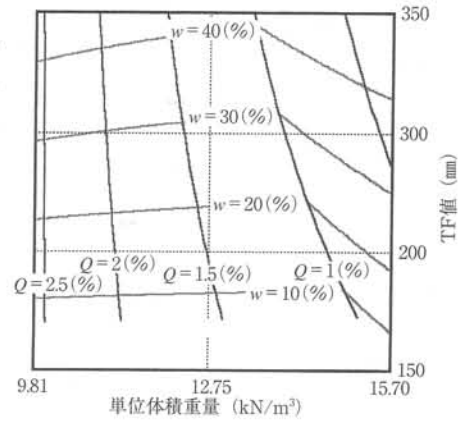


図-3 気泡安定液の単位体積重量とTF値の関係

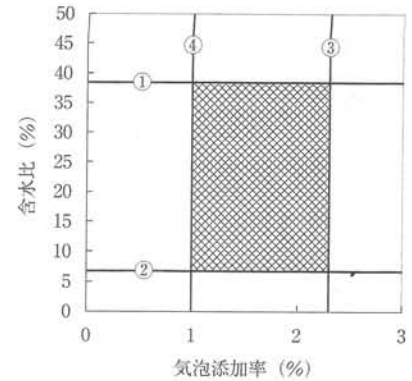


図-4 気泡安定液の気泡添加率と含水比の関係

表-2 図-4の境界線に対応した現象

境界番号	境界で起こる現象
①	気泡安定液内の土粒子と気泡が分離する。
②	土粒子の気泡吸着が起こる。
③	溝壁に作用する圧力が不足する。
④	地盤への浸透水量が急激に増加する。

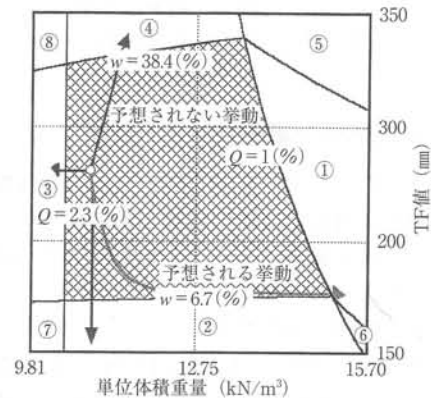


図-5 気泡安定液の性状管理図

率と含水比の限界値をテーブルフロー値と単位体積重量の限界値として表わすことができる。これをベントナイトの性状管理図である図-2と同様にして、気泡安定液の性状管理図として描くと図-5のようになる。網線の部分が、気泡安定液が溝壁安定保持性能を有する領域を

表-3 図-5の領域番号に対応した気泡安定液の挙動と対策

領域番号	現象	影響
①	気泡と土粒子が分離し、土粒子の沈み込みが起こる。	不均一となり崩壊の可能性がある。コンクリートとの置換ができない。
②	気泡安定液が溝壁に作用させる圧力が不足している。	全面崩壊などの可能性がある。
③	土粒子の気泡吸着が起こる。	気泡が消泡するため管理が難しい。気泡が消泡するため流動性を失う。
④	地盤への浸透水量が増加する。	部分崩壊の可能性がある。
⑤	①と②が同時に起こる。	
⑥	②と③が同時に起こる。	
⑦	③と④が同時に起こる。	
⑧	④と①が同時に起こる。	

領域番号	原因	対策
①	気泡安定液内の気泡量が少ない。	気泡量を増やす。
②	気泡安定液内の含水量が少ない。	加水量を増やす。
③	気泡安定液内の気泡量が多い。	消泡させる。
④	気泡安定液内の含水量が多い。	気泡安定液への水の流入を止める。

表-4 安定液条件

安定液	ベントナイト安定液	気泡安定液
希釈 起泡倍率 添加率(%)	5%ベントナイト 安定液 — 50	20倍希釈 25倍 100

示す。また、図-5に示した領域番号に対応する現象と、その影響・原因を表-3に示す。

実際に図-5を用いて消泡、土粒子の沈降などにより時間とともに変化する気泡安定液の性状を管理する場合、施工中に外的要因（降雨、配合ミスなど）の影響がないとすれば、気泡安定液の状態は①の方向に動くことが予想される。しかし、実際には各種の外的要因によって影響を受けることがあるため、予測外の挙動を示すことも考えられる。よって、そのような場合の対応策が必要である。表-3には、それぞれの場合の対応策も同時に示してある。

## 5. 地盤掘削用安定液のコスト評価

ここでは、ベントナイト安定液と気泡安定液個々について、地盤掘削用安定液の作成時と掘削終了後に発生する、いわゆる残土処理に当たって必要なコストを試算し、その評価を行う。

### 5.1 安定液作成時のコスト

安定液作成条件としては、表-4に示すような値を仮定した。これらの安定液を利用して、地盤中に体積 $1\text{m}^3$ の土砂を掘削して地中壁をつくる場合を想定する。なお表-4の添加率とは、掘削体積 $1\text{m}^3$ 当りに添加する安定液体積の比率である。計算手順は図-6に示すとおりである。図-6の手順に従って、計算される掘削土砂 $1\text{m}^3$ 当りに必要な安定液作成に要するコストは、それぞれ表-5に示すようになる。この結果、気泡安定液の作成コ

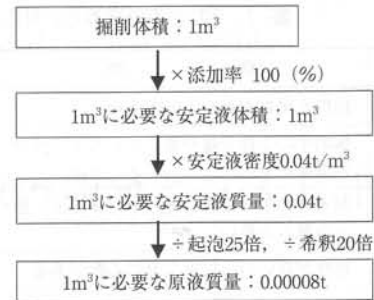


図-6 気泡安定液作成時のコスト計算手順

表-5 掘削土砂 $1\text{m}^3$ 当りの安定液作成時コスト

	ベントナイト	起泡剤
必要量 (t)	0.0238	0.00008
単価(万円/t)	2.8	150
コスト(円)	666	120

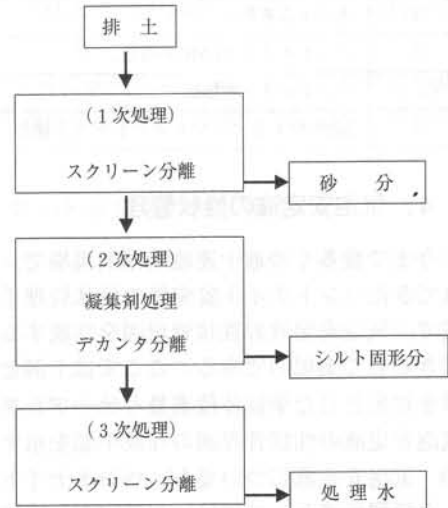


図-7 ベントナイト安定液排土の処理工程

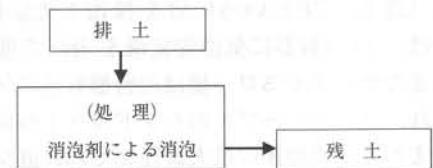


図-8 気泡安定液排土の処理工程

ストはベントナイト安定液の約5分の1ですむ。

### 5.2 残土処理コスト

ベントナイト安定液の場合、残土処理は図-7に示すようなフローに従って進められる。これに対して、気泡安定液を用いた場合には、図-8に示すように消泡剤によって前処理した残土を処理することになる。この残土処理費用は不明な点が多いが、気泡が消泡剤や乾燥などにより完全に消失すれば、気泡安定液は地山の状態に回復するので、その処理費用は発生しないことになる。

まず表-4の5%ベントナイト安定液の場合、掘削対象地盤が砂質土であれば、 $1\text{m}^3$ 当り $0.5\text{m}^3$ のベントナイト泥水を添加するが、逸水などによりベントナイト泥水の10%程度が失われるので、地中連続壁構築時の排土量

は1.45m<sup>3</sup>になる。一方、気泡安定液の場合、掘削土砂1m<sup>3</sup>当り同量の気泡安定液を添加するが、消泡などにより体積が約20%減少するので排土量は1.8m<sup>3</sup>になる。ところが、図-8に示すように、消泡剤を添加して気泡安定液を攪拌することにより、その体積を減少させることができる。

図-9は、横軸に気泡のもととなる起泡剤原液質量に対する添加した消泡剤質量の比で決まる原液比、縦軸に排土量をとって、その関係を実験的に求めたものである。この実験では、シリコン系の消泡剤を気泡安定液に添加して、攪拌する時間を一定（3分間）としている。原液比が0.5以下で消泡材の量が起泡剤原液より少ない場合には、攪拌することによって消泡よりも起泡が卓越するので、排土量は当初の1.8m<sup>3</sup>よりも大きくなる。ところが原液比を1以上にすると、消泡剤の量を起泡剤原液と同量以上添加して攪拌すると、排土量は消泡によって減少し、約1.5m<sup>3</sup>でベントナイト安定液とほぼ同量になる。

前にも述べたように、気泡安定液を消泡させた残土処理費用には不明な点が多いが、排土量はベントナイト安定液と同等なので、その処理費用はたかだかベントナイト安定液と同等ですむことになる。

要するに、安定液作成時と排土処理コストの両者を勘案すると、気泡安定液を用いることにより、ベントナイト安定液を利用した場合の少なくとも約40%のコスト削減を図ることができる。

## 6. まとめ

この各論では、地中連続壁掘削に従来用いられてきたベントナイト安定液に代わる新たな安定液として、界面活性剤系の起泡剤から発生させた気泡に、掘削土砂を混合して作成した気泡安定液の開発について概説した。併せて、気泡安定液を地中連続壁工法に適用した場合に発生するコストを試算し、ベントナイト安定液を用いた場

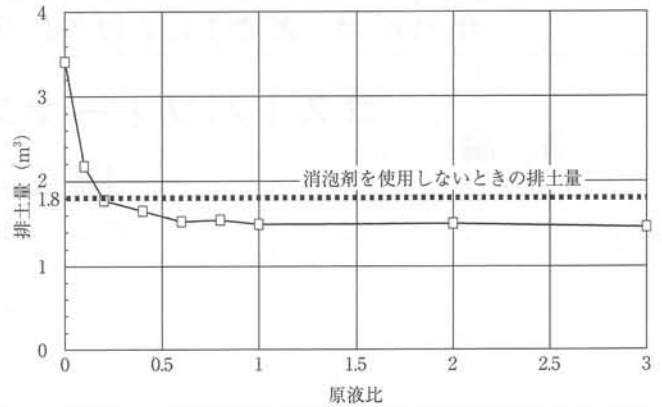


図-9 気泡安定液の原液比と排土量の関係

合のコストとの比較・評価を行った。その結果を要約すると下記のとおりである。

- ① 気泡安定液の性状管理は、ベントナイト安定液と類似した方法で、気泡安定液の単位体積重量とテーブルフロー値で決まる管理図を用いて、適切かつ簡便に実施することができる。
- ② 安定液作成時と残土処理コストを勘案すると、気泡安定液を用いることにより、ベントナイト安定液を利用した場合の、少なくとも約40%のコスト削減を図ることが可能である。

本研究の実施に当り、仲山貴司君（元早稲田大学大学院生，現JR総研）、直江久永君（早稲田大学大学院生）には、実験の実施・取りまとめを担当していただいた。また近藤義正氏（有マagma）には、研究の示唆をいただくとともにご援助をいただいた。記して謝意を表する。

## 〔参考文献〕

- 1) 赤木、仲山、近藤：起泡剤を用いた地盤掘削用安定液の溝壁安定化機構，No.765，pp. 1523～1524，第37回地盤工学研究発表会（大阪），2002年7月。