

りばらつきはあるが、ハイドゲン工法で施工することで、産業廃棄物の低減ができると考える。

### 9. おわりに

ハイドゲン工法協会は、環境問題が益々重要視されるなか、本工法が発展、普及するように推進を図る考えである。

#### <参考文献>

- (1) ハイドゲン工法協会：ハイドゲン工法標準積算資料、平成24年2月版
- (2) SMW協会：SMW連続壁標準積算資料－設計・施工・積算編－、平成23年2月版
- (3) 日本材料学会：ソイルミキシングウォール (SMW) 設計施工指針 (改訂版)

- (4) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル、Ver.3.0 (平成22年6月)
- (5) ㈱セメント協会：セメントのLCIデータの概要 (平成21年6月19日)
- (6) “ソイルセメント壁工法の最新技術と展望”、基礎工、Vol. 33、No.5 (2005)

#### 【問い合わせ先】

ハイドゲン工法協会 事務局  
 〒135-0016 東京都江東区東陽4-1-13  
 東陽セントラルビル ヒロセ(株)内  
 TEL：03-6893-0900 FAX：03-5634-0268

## 40年ぶりの改訂

# 新版 バルブ便覧

「バルブ便覧」は(社)日本バルブ工業会の編集により、1965年に初版が発行され、1969年の第4版以降、改訂作業は行われず、長らく品切れとなっておりましたが、今日の最新の技術動向について幅広くとりあげた、本分野随一の内容をもつ書籍として40年ぶりに発行することとなりました。プラント関係企業、配管関係企業、管材関係企業、水道関係企業、空調関係企業等の技術者、及び、バルブを取り扱う商社、大学、その他公的機関の皆様にご協力をお願いいたします。

フリーコール 0120-974-250

日本工業出版(株) 販売課

〒113-8610東京都文京区本駒込6-3-26 TEL 0120-974-250 FAX 03-3944-0389  
 sale@nikko-pb.co.jp http://www.nikko-pb.co.jp/



新版 バルブ便覧

社団法人 日本バルブ工業会

編集：(社)日本バルブ工業会  
 B5判 888頁 定価10,500円



# 気泡ソイルセメント

＝アワード工法の原理＝

早稲田大学 赤木 寛一  
 Hirokazu Akagi

### 1. はじめに

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、密度が減少する。気泡シールド工法や軽量盛土工法は、これらの特性を生かしている。

土粒子、水及び気泡を適切に配合した気泡混合土は、各々の密度は2.7、1.0、0.04g/cm<sup>3</sup>と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つ。この懸濁物の安定液としての性質を多数の実験により調べた結果、地中に掘削された溝壁を保持する機能があることを確認し、ソイルセメント地中連続壁等の施工時の安定液として利用し、これらを気泡安定液と呼んでいる。

### 2. 気泡について

気泡掘削工法に用いられる気泡は、生分解性のアルキルサルフェート系界面活性剤の起泡剤を使用して作成される。20倍希釈した起泡剤を、体積比で起泡剤1と空気24の割合で発泡機に送り込み発泡させた密度0.04g/cm<sup>3</sup>、気泡径200μmの気泡を標準状態としている。気泡安定液に使用する気泡は、土中の水や掘削攪拌時の圧力の変動によっても破泡しないことが必要である。

また、破泡剤を気泡安定液や気泡混合土に混

合すると、気泡は容易に破泡し、それらの体積は減少する。環境への負荷を減らすために、起泡剤のみならず破泡剤も生分解性を有する種類を選ぶことが望ましい。

### 3. 気泡安定液について

気泡安定液の物性は、下記のとおり混合土の物性（細粒分含有率 $P$ 、細粒分の液性限界 $w_L$ 、粗粒分の比表面積 $S$ ）と気泡添加率 $Q$ （混合土の乾燥質量に対する起泡剤の質量百分率）と含水比 $w$ の関数で表せ、 $Q$ と加水量 $W$ によりその物性を管理することができる。具体的な現場配合設計例や管理方法などについては、参考文献(1)に示されているので参照されたい。

#### 3-1 最小含水比

乾燥状態の土に、気泡を添加・混練すると気泡は水分を土に奪われて破泡する。破泡の生じない気泡混合土の最小の含水比を最小含水比 $w_{min}$  [%] と称し、 $P$ の関数として式(1)で求めている。

$$w_{min} = 6.97 + 0.0403P \quad \dots(1)$$

#### 3-2 分離含水比

懸濁状態の気泡安定液に徐々に水を加え含水比を高くすると土、水、気泡の分離が生じる。この含水比を分離含水比 $w_{sep}$  [%] と称し、 $Q$ 、 $P$ 、 $w_L$ 、 $S$ により式(2)で求めている。

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

### 3-3 単位体積重量

地中に掘削された溝壁の安定を保つためには、ベントナイトを利用した安定液と同様に気泡安定液の単位体積重量を10.3kN/m<sup>3</sup>以上に保つ必要があるが、その単位体積重量は気泡の添加量Qで容易に調節することができる。たとえば、Qを2.3%とすると、気泡安定液の単位体積重量は10.3kN/m<sup>3</sup>となる。

### 3-4 流動性

ソイルセメント地中連続壁の施工においては、安定液の流動性は芯材の挿入性を左右する。気泡安定液の流動性はQとWにより容易に調整が可能であり、その定量的評価はテーブルフロー値TFにより行うこととし、次式(3)のような気泡安定液の含水比wの一次式で表し、係数α、βは土の物性値(P、w<sub>L</sub>、S)とQを用いて決定することができる<sup>(1)</sup>。

$$TF = \alpha w + \beta \quad \dots(3)$$

### 3-5 溝壁の安定

溝壁の安定を保って掘削をするには、溝壁面に安定液の液圧を垂直全応力として有効に作用させるために、溝壁面に難透水層を形成するとともに、地盤の崩壊圧以上の液圧を溝壁面に加える必要がある。安定液の溝壁面における難透水層の形成状況を調査するために、豊浦砂や硅

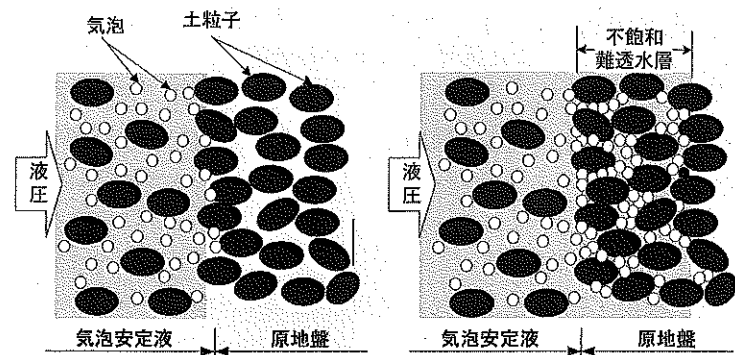
砂を対象として、気泡安定液とベントナイト安定液により形成された難透水層の透水係数kを室内浸透実験で測定したところ、第1表に示すような結果となった。

ベントナイト安定液では、粒径の大きな砂では浸透して難透水層に相当する泥膜が形成されないが、気泡安定液では幅広い粒径範囲の砂で地盤材料よりも3ケタ程度小さい透水係数の難透水層が形成されていることがわかる。

この気泡安定液による難透水層の形成メカニズムは、第1図に示すように気泡安定液の液圧により気泡が土粒子間の空隙に侵入し、土粒子と水、気泡よりなる不飽和帯が形成されることによるためと考えられている。

### 3-6 気泡安定液の管理

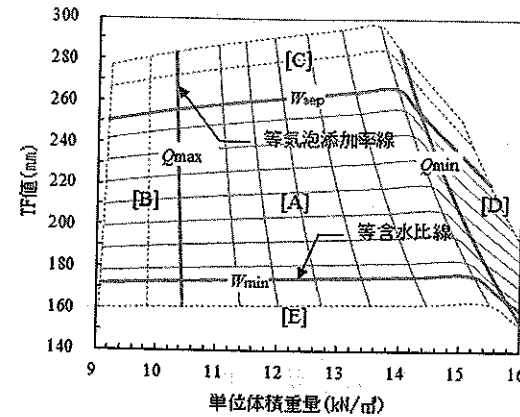
気泡安定液の施工時における品質は、第2図に示すように、前述の安定液のTF値に関係する最小含水比w<sub>min</sub>、分離含水比w<sub>sep</sub>、単位体積重量に関する最小気泡添加率Q<sub>min</sub>、最大気泡添加率Q<sub>max</sub>で囲まれた領域([A])内部に位置



第1図 難透水層形成概念図

第1表 気泡安定液、ベントナイト安定液による難透水層形成後の透水係数 [m/s]

地盤材料	豊浦砂	硅砂7号	硅砂6号	硅砂5号	硅砂4号	硅砂3号
平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)	0.188	0.196	0.334	0.571	0.941	1.49
地盤材料の透水係数	1.80×10 <sup>-4</sup>	1.70×10 <sup>-4</sup>	4.21×10 <sup>-4</sup>	6.62×10 <sup>-4</sup>	9.73×10 <sup>-4</sup>	9.10×10 <sup>-4</sup>
気泡安定液による透水係数	1.80×10 <sup>-7</sup>	4.78×10 <sup>-7</sup>	7.40×10 <sup>-7</sup>	2.57×10 <sup>-7</sup>	1.45×10 <sup>-7</sup>	1.30×10 <sup>-7</sup>
ベントナイト安定液による透水係数	2.50×10 <sup>-8</sup>	2.90×10 <sup>-8</sup>	3.30×10 <sup>-8</sup>	浸透により難透水層不形成		



第2図 気泡安定液管理図

するように気泡量と加水量の組合せにより管理する。

## 4. 気泡ソイルセメント工法

### 4-1 SMW工法への適用

#### (AWARD-Ccw工法)

AWARD-Ccw工法は、柱列式地中連続壁施工機械を用いて施工する。施工機械の下端部から気泡及び水を添加しつつ、掘削・混練を行い、混合攪拌翼の引上げ時に、破泡剤を含んだセメント系懸濁液を添加しつつ気泡安定液と混練する。この時、気泡安定液中の気泡は破泡し、空気分は安定液中を通過して地上部まで上昇するので、ソイルセメント固化体の残存気泡量は数%程度である。

掘削深度が深い場合や、障害物があり掘削に時間がかかる場合などには非硬化性の気泡安定液は適しており、さらに排泥量が従来工法に比し1/2~1/3になるので環境負荷が小さい工法と言える。

なお、気泡を破泡させずに固化させると低強度の柔構造固化体を造成することができるので、地震動等によりクラックの入り難い靱性の高い地中連続壁を造成することもできる<sup>(2)</sup>。

### 4-2 TRD工法への適用

#### (AWARD-Trend工法)

AWARD-Trend工法では、施工機械として

等厚式ソイルセメント壁を造成するTRD施工機械を使用する。施工機械の下端から所定量の気泡と水を添加しつつ掘削・混練を行い、掘削土、気泡及び水の懸濁した気泡安定液を造成しながら掘削を行う。ソイルセメント壁造成時には、破泡剤を添加したセメント系懸濁液を気泡安定液と混練し固化体を造成する。

礫を含む掘削の困難な地盤や掘削深度が大きい地盤での対応性が良く、掘削時の機械負荷が小さく、破泡により排泥土量が1/2~1/3に減少するので環境負荷が少ない。

## 5. おわりに

ここでは、気泡安定液を利用した気泡ソイルセメント工法、アワード工法の原理について説明し、SMW工法とTRD工法への適用例の概要を述べた。それらの詳細については、それぞれ各論が示されているので参照されたい。

### <参考文献>

- 近藤義正・仲山貴司・赤木寛一：“掘削土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、Vol.64、No.3、pp.505-518 (2008.7)
- 赤木寛一：“起泡剤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 (2006.3)

### 【筆者紹介】

赤木 寛一

早稲田大学 理工学術院 教授  
〒169-8555  
東京都新宿区大久保3-4-1  
58号館205号室 赤木研究室  
TEL：03-5286-3405  
FAX：03-5272-0695  
E-mail：akagi@waseda.jp



<主なる業務歴および資格>

1994年4月より、早稲田大学教授。土木学会フェロ

ー特別上級技術者(地盤・基礎)