

## セメントスラリー添加を考慮した掘削用気泡安定液の性状について

気泡 セメント 懸濁性 早稲田大学 学生会員 ○堅尾祐太 早稲田大学 内山史基, 渡辺諒  
早稲田大学 国際会員 赤木寛一 前田建設(株) 正会員 安井利彰  
(有) マグマ 国際会員 近藤義正 戸田建設(株) 正会員 下坂賢二

## 1. はじめに

通常の気泡を用いた柱列式ソイルセメント地中連続壁工法(以下 AWARD-Ccw 工法)では、攪拌翼引上げ時にセメントスラリーを注入しているが、品質やコスト(排泥量低減)の観点から、現在の AWARD-Ccw 工法では掘削時と引上げ時の両方でセメントスラリーを注入し、ソイルセメントの構築を行っている。当然、掘削時の安定液および引上げ後のソイルセメントとしての要求品質は異なる。そのため、掘削時からのセメントスラリー注入による気泡安定液の流動性、懸濁性、改良体強度に及ぼす影響を把握する必要がある。

本研究では、セメントスラリー添加による AWARD-Ccw 工法における気泡安定液の性状変化を把握することを目的として実験的な検討を行った。また、地中連続壁工法で用いられているベントナイト安定液と、AWARD-Ccw 工法に用いられる気泡安定液のそれぞれにセメントスラリーを添加した場合の性状変化を比較することで、気泡安定液の優位性についても調査した。

## 2. 実験内容

表 1 試料一覧

表 2 ベントナイト安定液の配合  
(試料土 1.0m<sup>3</sup>あたり)

## 2.1 実験条件

実験に用いた試料を表 1 に示す。また、本実験におけるベントナイト安定液は等厚式ソイルセメント連続壁工法に用いられる安定液を想定し、掘削土混じりのベントナイト安定液とする。ベントナイト安定液の配合を表 2 に示す。

試料	
土試料の種類	珪砂5号
固化材の種類	高炉セメントB種
起泡剤の種類	合成界面活性剤
消泡剤の種類	エマルジョン型
練り混ぜ水	水道水
ベントナイトの種類	Na型(山形県産)

水 (kg)	ベントナイト (kg)	CMC (kg)
435.9	20	2.5

既往の研究からベントナイト安定液ではセメント添加による安定液の劣化が確認されている。これには、ベントナイト粒子表面の負の電荷とセメントの水和反応によって発生するカルシウム Ca<sup>2+</sup>の電荷中和の影響で凝集作用が起こることが関係している。そこで、セメントとほぼ同粒径かつ固化作用をもたない試料である珪粉(主成分は SiO<sub>2</sub>)を用いることで、両安定液でのセメントによる影響を確認した。

## 2.2 実験手順

## 1) 安定液の作製

## ①ベントナイト安定液

表 2 に示した配合でベントナイト水溶液を作成し、1 日放置した。珪砂 5 号にベントナイト水溶液を添加し、ホバートミキサーを用いて攪拌混合し、ベントナイト安定液を作製した。ここで、試料土の含水比はスラリー無添加時の攪拌直後の TF 値が 200mm 程度になるよう設定した。

## ②気泡安定液

珪砂 5 号に気泡を添加し、ホバートミキサーを用いて攪拌混合し、気泡安定液を作製した。ここで、試料土の含水比はスラリー無添加時の攪拌直後の TF 値が 200mm 程度になるよう設定した。また、気泡は起泡剤を水で 20 倍に希釈した後、25 倍の体積に発砲させたものとし、気泡添加率は 0.5% に設定した。

## 2) 流動性の測定

i) W/C=60%のセメントスラリーまたは珪粉スラリーを 0, 100, 200, 300kg/m<sup>3</sup> ずつ、両安定液に添加し攪拌混合した後、TF (テーブルフロー) 値を測定した。

ii) 1 時間放置後、両安定液の TF 値を測定した。セメント固化による両安定液の流動性の経時変化を確認した。

## 3) 懸濁性の測定

i) 所定量のセメントスラリーまたは珪粉スラリーを添加した両安定液を上下分割モールド(内径 9cm, 高さ 10cm × 2=20cm)に入れて単位体積重量を測定した。

ii) 1 時間放置後、それぞれの下部モールドの重量を測定することで、上下モールド間の密度を比較した。密度比(下部モールド密度/上部モールド密度)を測定することにより、両安定液の懸濁性の経時変化を確認した。

## 4) 改良体強度

セメントが添加された両安定液をモールド(直径 5cm, 高さ 10cm)に投入し、7 日間水中養生後の一軸圧縮強度を測定した。

### 3. 実験結果と考察

以下の図 1~4 では気泡の実験ケースを Air、ベントナイトの実験ケースを be、セメント添加時を - C、珪粉添加時を - Si と示している。

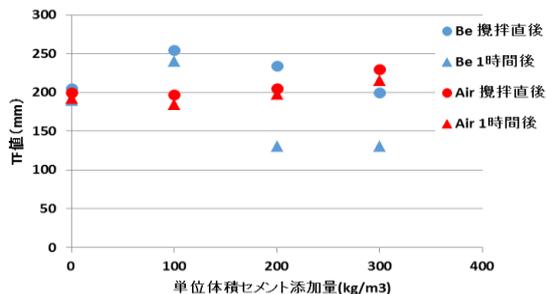


図1 TF値とセメント添加量の関係

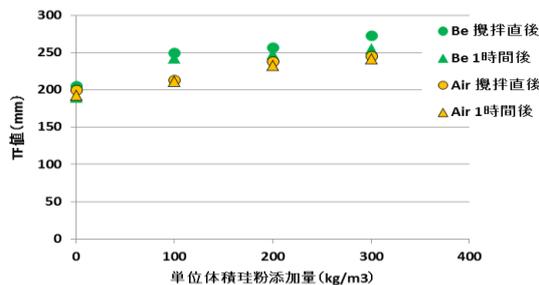


図2 TF値と珪粉添加量の関係

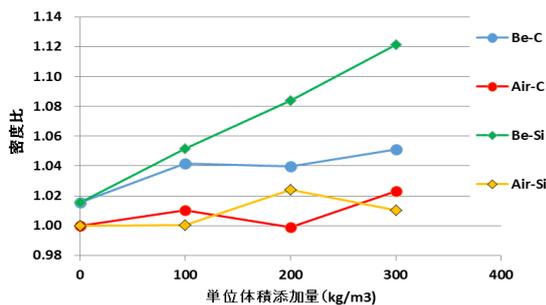


図3 密度比とセメントまたは珪粉添加量の関係

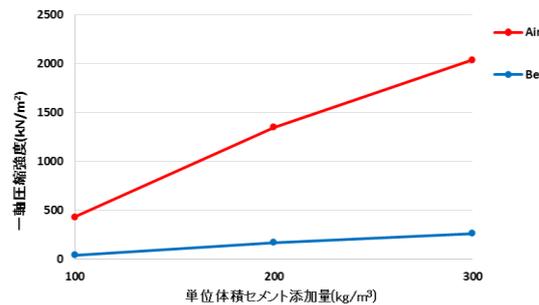


図4 一軸圧縮強度とセメント添加量の関係

図1はセメント添加量と安定液の流動性 (TF 値) との関係を示す。気泡安定液において、セメント添加量が増加するにつれて、TF 値が上昇している。また、時間経過による TF 値の減少は最大 14mm であり、いずれのケースにおいてもわずかな減少であった。一方、ベントナイト安定液ではセメント添加量 200,300kg/m<sup>3</sup> のケースでは時間経過と共に TF 値が著しく減少している。これは、添加量 200kg/m<sup>3</sup> 以上とすると前述のベントナイトとセメント間の凝集作用が顕著に現れ出し、時間が経つごとに流動性を失ったためである。

図2は珪粉添加量と TF 値の関係を示す。両安定液において、セメント添加量が増加するにつれて、TF 値が上昇している。このことから、図1のセメント添加時ではベントナイト安定液の流動性が著しく低下しているため、ベントナイト安定液ではセメント添加による凝集作用が起きていることが確認できる。また、気泡安定液の場合ではセメントの有無に関係なく流動性を確保でき、加水量が流動性に大きな影響を与えていることがわかる。

図3は珪粉またはセメント添加量と安定液の密度比との関係を示す。すべてのセメント添加のケースにおいて、気泡安定液の方がベントナイト安定液よりも密度比が低い。これは、セメントスラリーを添加した際の分離抵抗性は、気泡安定液の方が優れていることを示している。また、珪粉添加時の両安定液において、気泡安定液は図2のセメント添加時と密度比は同様であるが、ベントナイト安定液では異なる挙動を示した。この結果からベントナイトとセメントの凝集作用が分離抵抗性を損なう原因であることがわかる。

図4は固化体の一軸圧縮強度とセメント添加率の関係を示す。両安定液において、セメント添加量の増加とともに一軸強度は上昇しているが、気泡安定液の方が強度発現は大きくなった。ベントナイト安定液では凝集作用から安定液の混合度合いが悪く、強度発現に影響を及ぼしていると考えられる。

### 4. まとめ

セメントを添加したベントナイト安定液では、流動性が低下しセメントとベントナイトの凝集作用が起こっていることが確認できた。そのため、ソイルセメント固化体を造成する場合には、ベントナイト安定液よりも気泡安定液の方が流動性、懸濁性、改良体強度において優位であると言える。今後は、セメント添加によって気泡安定液の性状に影響を与える要因の感度分析を進めていく。

### 5. 参考文献

- 1) 平岡成明：地中連続壁の安定液，山海堂，1991，8
- 2) 近藤義正，仲山貴司，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 Vol.64 No.3, pp505-518, 2008, 7