

セメントスラリーを添加した気泡安定液の性状管理について

気泡掘削工法 セメントスラリー 懸濁性

早稲田大学 学生会員 ○若松 大幹

早稲田大学 国際会員 赤木寛一 前田建設工業(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

地盤改良工法の一つである柱列式ソイルセメント地中連続工法（以下、SMW 工法）は原地盤と固化液（セメントミルク）及び添加剤等を攪拌混合しながら掘削して地中に柱状の連続した改良体（土留壁や止水壁）を構築する施工法である、これに気泡掘削工法を適用した工法が AWARD-Ccw 工法である。掘削時に気泡を添加して流動性を向上させることで、SMW 工法と比較して加水量を低減できる。これにより、排泥量を大幅に削減できる。

AWARD-Ccw 工法では掘削時と引き上げ時の両方で固化液を注入し、ソイルセメントの構築を行っている。施工中の溝壁安定性は、気泡、固化液及び原地盤を混合攪拌することにより造成される「気泡ソイルセメント安定液」の性状に影響を受ける。そのため、安定液性状の経時変化を把握することが重要と考えた。

本研究では、気泡ソイルセメント安定液の性状変化（分離抵抗性）を把握することを目的として、従来一般的に使用されているベントナイト安定液と比較しながら、実験的検討を試みた。その結果について述べる。

2. 試験手順

分離抵抗性を把握するためには、安定液の深度方向の密度変化を計測すればよいと考えた。方法として、安定液中におもりを吊るし、浮力の経時変化から、密度変化を把握することを試みた。実験手順を以下に示す。

① 安定液の作製

(i) 気泡ソイルセメント安定液

所定量の試料土（東北珪砂 5 号：1900g，木節粘土：100g，水：200g）に、表 1 に示す水、セメントおよび気泡を添加し、ホバートミキサーを用いて 5 分間攪拌混合した。ここで、気泡は起泡剤を水で 20 倍に希釈した後、25 倍の体積に発泡させたものである。

(ii) ベントナイト安定液（掘削土混じり）

所定量の試料土（東北珪砂 5 号：1900g，木節粘土：100g，水：200g）に、表 2 に示す水、セメント、ベントナイトおよび CMC を添加し、ホバートミキサーを用いて 5 分間攪拌混合した。

② 各々作製した安定液を上下分割モールド(内径 9cm, 高さ 10×2=20cm)に投入し、初期密度を測定した。

③ 電子はかりに球状のおもりを紐で吊るし、おもりを上部モールドの中心部分まで沈め静置した。電子はかりで、おもりの質量変化を 1 時間測定した。

④ 測定値から安定液の密度変化を算出し、分離抵抗性を確認する。



図 1 実験用おもり
(直径 2.5cm, 重さ 69.5g)

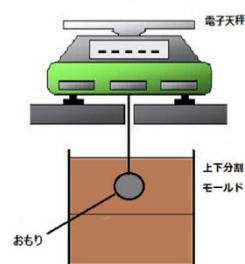


図 2 実験全体図

表 1 気泡ソイルセメント安定液の配合表

ケース		1	2	3	4
セメントミルク	セメント量(g)	121.95	121.95	121.95	121.95
	水量(g)	221.95	141.95	121.95	101.95
気泡	添加率(%)	1.0	1.0	1.0	1.0
	添加量(g)	20	20	20	20

表 2 ベントナイト安定液の配合表

ケース		1-Be
セメントミルク	セメント量(g)	121.95
	水量(g)	221.95
ベントナイト安定液	水量(g)	597.56
	ベントナイト(g)	24.39
	CMC(g)	3.05

3. 実験結果

(1) 気泡ソイルセメント安定液の実験結果

初期密度と 1 時間後密度（上部密度，下部密度）を表 3 に示す。

表 3 初期密度と 1 時間後密度

ケース	初期密度 (g/cm ³)	1時間後 上部密度 (g/cm ³)	1時間後 下部密度 (g/cm ³)	密度比
1	1.365	1.265	1.464	1.157
2	1.312	1.289	1.335	1.036
3	1.265	1.249	1.281	1.026
4	1.254	1.251	1.256	1.004
1-Be	1.708	1.637	1.780	1.087

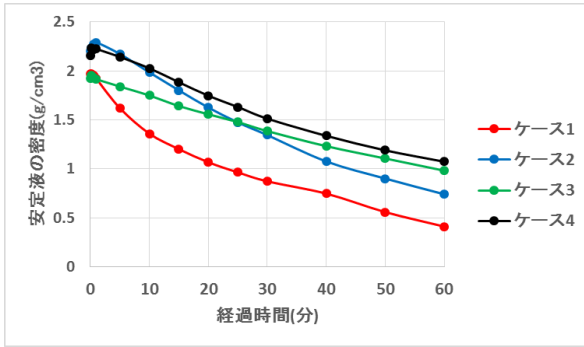


図3 経過時間と安定液の密度の関係

アルキメデスの原理より、おもり設置深度における安定液密度を以下の計算式によりもとめる。

$$\rho_{\text{sus}} = (M - C) / V \quad \dots \textcircled{1}$$

ここに、C：はかりの値(g)，M：おもりの重さ(69.5g)，

V：おもりの体積(8.18cm³)，

ρ_{sus} ：おもり設置深度における安定液密度(g/cm³)

図3は経過時間と式①からもとめた安定液密度の関係を示す。全てのケースにおいて時間が経過するにつれて安定液密度が低下している。また、総加水量が多いと安定液密度の減少量が大きい傾向を示すことがわかった。総加水量を増加させると安定液の分離が早く進行することによって考えられる。しかし、図3の経過時間ゼロにおける安定液密度と表3の初期密度(上下分割モールド)とが同等の値にならず、大きな乖離が生じた。おもり試験の結果の方が大きい値を示す。ベントナイト安定液でも同様の実験を行い、結果を比較することとした。

(2) ベントナイト安定液との比較

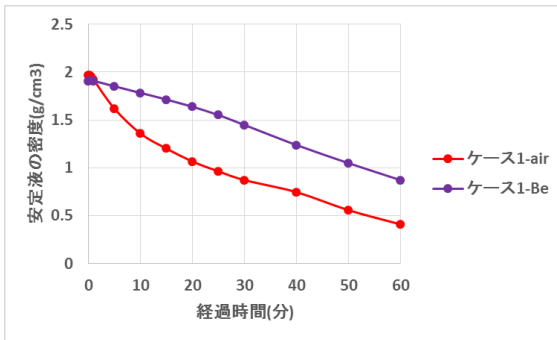


図4 経過時間と安定液の密度の関係

気泡安定液とベントナイト安定液の経過時間と安定液密度の関係を図4に示す。配合は表-2に示すとおりである。

ベントナイト安定液の場合は、気泡安定液よりも、表3の初期密度と図4の経過時間ゼロでの密度との乖離は小さい。このことからベントナイト安定液では①式により安定液密度の導出は可能と考えられる。また、①式によりもとめた60分経過時の上部モールド安定液密度が表3に示す値に比べて小さい。ベントナイト安定液は、気泡安定液に比べて粒子分(土粒子、セメント粒子)が多いため、おもりが球状ではあるが、沈降した粒子分がおもり上に積り、電子はかりの値が増加したからではないかと考えられる。

おもりの形状について検討の余地があるかもしれない。

(3) 気泡安定液を圧縮性流体として扱う場合

図3の気泡安定液密度は式①より導出したものである。しかし、図3に示す経過時間ゼロでの安定液密度は表3の初期密度と大きく乖離した。式①では、気泡安定液を非圧縮性流体であると計算しているが、気泡安定液は多くの気泡を含んでいるため圧縮性流体として扱うべきではないかと考えた。

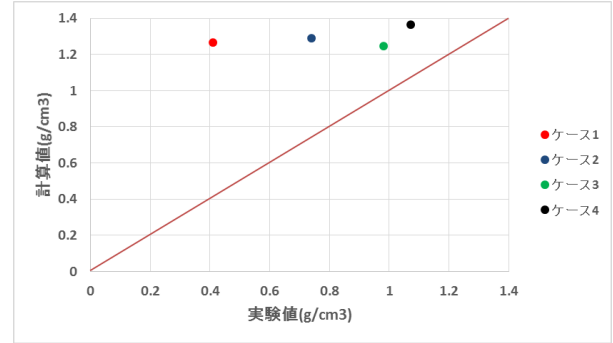


図5 実験値と計算値の関係

圧縮性流体として仮定した場合の浮力Fの計算式を以下に示す。

$$F = \int \rho(z) g dv \quad \dots \textcircled{2}$$

$\rho(z)$ は表3の1時間後上部密度および下部密度から求めた安定液密度の深度方向分布である。なお、安定液密度の値が2点しかないため、深度方向の密度分布を線形関係と仮定した。

図5は横軸に実験値(はかり試験)を縦軸に②式から導出した計算値を示している。比較すると、加水量が少ないケース③④は実験値と計算値がほぼ同等であるが、加水量が多いケース①②は、実験値と計算値の間に大きな乖離がみられた。加水量が多いケースは分離の進行が大きいため、今回のように、密度の深度方向分布を線形と仮定したことに問題があるのかもしれない。

4. まとめ

(1) 吊りはかり試験を行った結果、おもり設置深度での気泡安定液密度は時間経過とともに低下した。特に、総水量が多いケースでは、密度低下が大きい。

(2) 吊りはかり試験からアルキメデスの原理によって算出した経過時間ゼロでの気泡安定液密度と上下分割モールドで計測した気泡安定液初期密度に大きな乖離が生じた。

(3) 気泡安定液を圧縮性流体として取り扱うことにより、加水量が少ないケースでは、②式により気泡安定液密度を把握できる可能性を確認した。

5. 参考文献

- 1) 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
- 2) 平岡成明：地中連続壁の安定液，山海堂，1991, 8