

セメントミルク添加を考慮した掘削用気泡安定液の懸濁性について

早稲田大学 学生会員 ○堅尾 祐太 早稲田大学 学生会員 若松 大幹
早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一 前田建設(株) 正会員 安井 利彰

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、従来の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、安定液の性状を把握することが重要である。

本研究では、気泡ソイルセメント安定液の性状変化（懸濁性）を把握することを目的として実験的な検討を行った。

2. 実験概要

安定液の懸濁性を把握するために、安定液の密度変化を計測すればよいと考えた。方法としては、安定液中におもりを吊るし、おもりに働く浮力の経時変化から密度変化を把握した。おもりをを用いた密度試験を行っていく中で、安定液の粘性力がおもりに作用していることが確認できた。このため、安定液作製直後の安定液中のおもりに作用するせん断応力及びせん断ひずみ速度を球引上げ粘性試験から算出し、安定液の懸濁性との関係性を調査した。

3. 実験手順

おもりをを用いた密度試験と球引上げ粘性試験の実験手順を以下に示す。

1) 安定液の作製

所定量の試料土（東北珪砂 5 号：木節粘土=19：1，含水比 10%）に、W/C=1.0, 1.25, 1.8 のセメントミルク（セメント添加量 100kg/m³）と気泡を添加し、ホバートミキサーで

5 分間攪拌混合した。ここで、気泡は起泡剤原液を水道水で 20 倍希釈し、25 倍発泡させたものとし、気泡添加率を 1.0% に設定した。

2) 密度の測定

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

3) おもりをを用いた密度試験

i) 電子天秤に球状のおもり（図 3.1）を紐で吊るし、おもりを上部モールドの中心部まで沈め静置した。（図 3.2）

ii) 電子天秤で測定したおもりの質量変化から安定液の密度を算出した。

4) 球引上げ粘性試験

i) 巻取機から紐に吊るしたおもりを安定液中に沈め、おもりを巻取機で速度一定に引き上げた。引上げ速度は 6 段階で行った。

ii) 引き上げ中におもりに作用する荷重（抵抗力）を測定し、安定液の粘性を算出した。



図 3.1 実験用おもり
(直径 2.5cm, 重さ 69.5g)

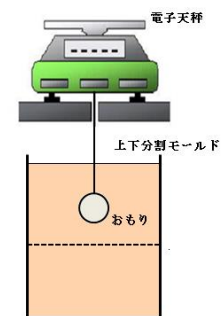


図 3.2 はかりを用いた
密度試験全体図

4. 実験結果

1) おもりをを用いた密度試験

アルキメデスの原理に基づき、おもり周辺の安定液密度を以下の計算式から求められると考えた。

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

ここに、 ρ_{sus} : 安定液密度(g/cm³)、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)

キーワード 気泡, 懸濁性

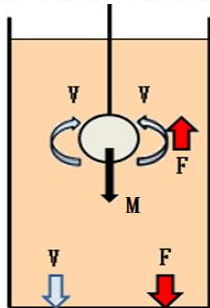
連絡先 〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 TEL. 03-5286-3000

表 4.1 安定液の密度

ケース	式(1)から求めた密度	測定した密度
W/C	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1.8	1.715	1.365
1.25	1.890	1.327
1.0	1.922	1.326

表 4.1 は、安定液作製直後の式(1)から求めた安定液の密度と測定した密度を示す。すべてのケースにおいて、式(1)から求めた密度の方が大きな値を示した。これは、おもりに図 4.1 で示すような浮力以外に上向きの力（粘性による抵抗力）が作用していることが原因であると考えられる。

上はかりの値 $C \cdot g = M \cdot g - F - V \cdot g$



ここに、C：上はかりの値(g)、M：おもりの重さ(g)、F：浮力(N)、V：粘性による抵抗力 (g)

図 4.1 安定液中の力のつりあいイメージ図

表 4.2 粘性による抵抗力

ケース	粘性による抵抗力 V (g)	粘性による抵抗応力 τ (g/mm ²)
W/C	(g)	(g/mm ²)
1.8	2.864	0.00583
1.25	4.605	0.00938
1	4.883	0.00995

※ (抵抗応力) = (抵抗力) / (おもりの断面積)

表 4.2 は、図 4.1 中の式から求めた粘性による抵抗力 V (g) を示す。W/C の低い安定液の方が抵抗力は大きくなるのがわかる。このため、球引上げ粘性試験から安定液がおもりの周りを移動する速度を把握することで、安定液の懸濁性との関係を確認した。

2) 球引上げ粘性試験

球引上げ粘性試験の結果は以下の式から算出した。

$$\text{せん断応力 } \tau = \frac{F}{12\pi r^2}, \text{せん断ひずみ速度 } \gamma = \frac{V}{2r}$$

ここに、F：引上げ抵抗力(g)、V：引上げ速度(mm/s)、r：おもりの半径 (12.5mm)

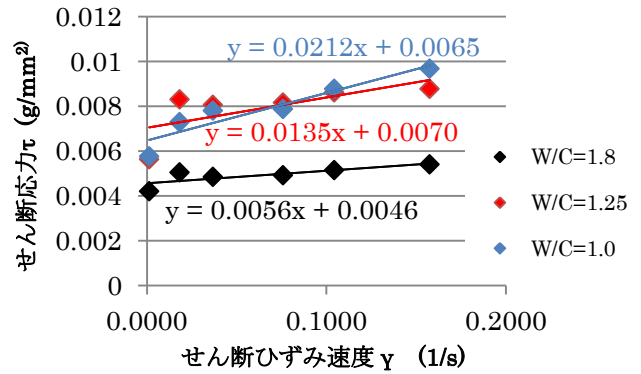


図 4.2 せん断応力とせん断ひずみ速度の関係

表 4.3 安定液がおもりの周辺を移動する速度

ケース	せん断応力 τ (g/mm ²)	せん断ひずみ速度 γ (1/s)
W/C	(g/mm ²)	(1/s)
1.8	0.00583	0.220
1.25	0.00938	0.176
1	0.00995	0.163

図 4.2 は球引上げ試験の結果、表 4.3 は安定中のおもりに作用するせん断応力とせん断ひずみ速度を示す。表 4.3 に示すせん断ひずみ速度は、表 4.2 に示す粘性による抵抗応力から図 4.2 を用いて求めた。表 4.2 に示す粘性による抵抗応力が安定液中のおもりに働くせん断応力と同一であると推測すると、図 4.2 に示すせん断ひずみ速度が安定液の移動速度を示すと考えられる。表 4.3 より W/C の低い安定液の方がおもりの周りを遅く移動していることがわかる。したがって、懸濁保持性能が高い安定液ほど移動速度が遅いことを示し、安定液の移動速度が安定液の懸濁性に関係していることがわかる。

5. まとめ

- 1) おもりを用いた密度試験の結果から、安定液の粘性がおもりに作用していることを確認した。このため、安定液の粘性が安定液の懸濁性に影響を与えていると考えられる。
- 2) それぞれの安定液における粘性による抵抗力を測定することで、安定液の移動速度を把握し、安定液の懸濁性を評価できる可能性を確認した。

6. 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