

気泡ソイルセメント安定液の空気量による性状への影響について

AWARD 工法 地盤掘削 気泡安定液

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

早稲田大学 学生会員 重田 恭兵

1. はじめに

地中連続壁工法の一つに SMW 工法(柱列壁ソイルセメント地中連続壁工法)がある。筆者らは、この工法に気泡掘削工法を適用し、環境負荷低減、品質向上およびコスト低減を実現してきた。掘削時には、掘削土、気泡および水が混合攪拌された気泡安定液により溝壁の安定性を確保する。近藤ら¹⁾は、この気泡安定液の品質管理を行うために「気泡安定液管理図」を作成した。気泡安定液管理図は、横軸に気泡安定液の単位体積重量を、縦軸にテーブルフロー値(以下 TF 値)をとり、グラフ上に 4 つの管理指標を設定している。管理指標は、気泡安定液の懸濁安定性を管理する最小含水比および分離含水比、溝壁安定性および流動性を管理する最大気泡添加率および最小気泡添加率である。

これらの管理指標は、室内配合試験結果より、掘削土の物性値、気泡添加率や気泡安定液の含水比を説明変数とした実験式で表されている。一方、掘削時に気泡に加えセメントミルクを注入しながら施工する場合もある。その場合、上記気泡安定液管理図での品質管理が難しいため、新たに、セメントが混入した「気泡ソイルセメント安定液」(以下、安定液)の管理図の作成を試みている。実際の施工では、混合攪拌時に空気を取り込むため、起泡剤が再発泡しており、配合設計上の気泡添加量以上の気泡が安定液中に含まれている可能性が高い。安定液の性状は気泡添加量による影響が大きい。そのため、現場における安定液中の気泡添加量の管理は非常に重要である。

本研究では安定液中に含まれている気泡添加量に着目し、分離抵抗性および流動性への影響を確認した。

2. 実験概要

表-1 に実験に使用した材料を、表-2 に各実験ケースの配合を示す。

実験手順は以下のとおりである。混合攪拌にはホバートミキサーを用いた。

① 安定液の作成

試料土にセメントスラリー(水+セメント)を添加し、3 分間攪拌混合した。その後、気泡を添加し 3 分間攪拌混合した。ここで、気泡は水で 20 倍に希釈した起泡剤をそれぞれ 10 倍、15 倍、20 倍および 25 倍に発泡させたものである。

② 流動性の計測

作製した安定液の TF 値を計測した。

③ 密度比の測定

作製した安定液を図-1 に示す上下分割モールドに投入し、初期単位体積重量を測定した。また、初期単位体積重量より安定液中の気泡量を理論式(式 1~式 4)により推定した。1 時間後に上下分割モールドを分割し、上部単位体積重量、下部単位体積重量および密度比(=下部単位体積重量/上部単位体積重量)を求めた。なお、密度比が 1.02 を超えると分離状態と規定し¹⁾、このときの含水比を分離含水比と設定した。

$$\rho = \frac{m_s + m_c + m_w + m_a}{\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_a}{\rho_a} A_a} \quad \dots (式 1)$$

$$A_a' = \frac{\{(m_s + m_c + m_w + m_a) - \rho \left(\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} \right)\}}{\rho \times \frac{m_a}{\rho_a}} \quad \dots (式 2)$$

$$V_{air} = m_a \times A_a \quad \dots (式 3)$$

$$q = \frac{V_{air}}{V} \times 100(\%) \quad \dots (式 4)$$

ここに、 A_a :起泡倍率、 ρ :安定液の理論密度(g/cm³)、 ρ_w :水の密度(g/cm³) ρ_a :起泡剤の密度(g/cm³)

表-1 実験に使用した材料

試料土	東北珪砂5号
セメント	高炉セメントB種
水	水道水
起泡剤	WTM起泡剤(20倍希釈)

表-2 気泡ソイルセメント安定液の配合表
(珪砂 5 号:2000g あたり)

ケース	水量(g)	セメント添加量(g)	起泡倍率	全体含水比(%)
1~4	129	111	10~25	12.3
5~8	149	111	10~25	13.3
9~12	169	111	10~25	14.2
13~16	189	111	10~25	15.2
17~20	209	111	10~25	16.1
21~24	229	111	10~25	17.1

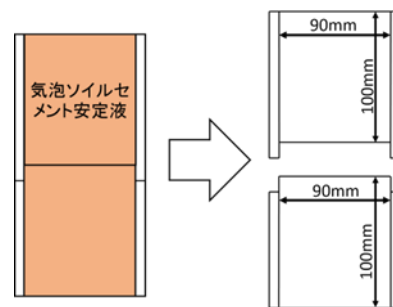


図 1 上下分割モールドを用いた分離試験の概要

ρ_s : 試料土の土粒子密度(g/cm³) ρ_c : セメントの密度(g/cm³) m_s : 試料土の質量(g) m_c : セメントの質量(g)
 m_w : 水の質量(g) m_a : 気泡量(g) A_a' : 逆算気泡倍率 q : 逆算気泡量(%)

3. 実験結果

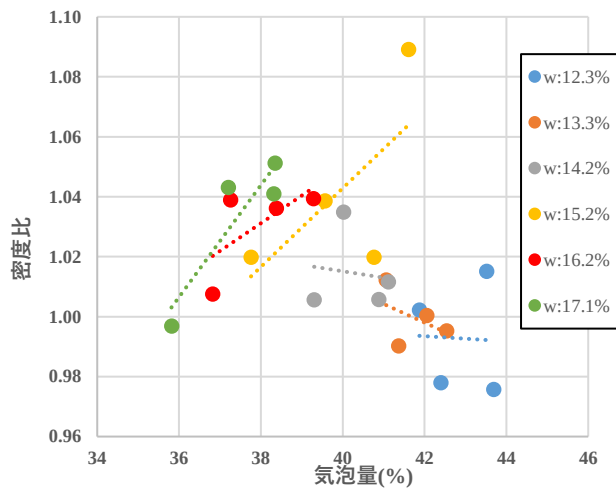


図-2 気泡量と密度比の関係

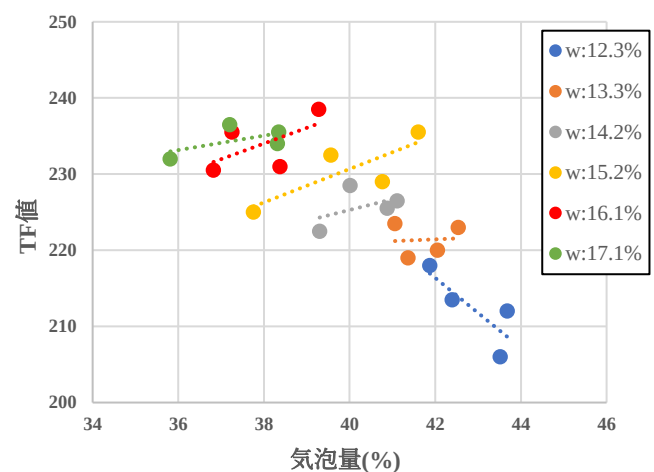


図-3 気泡量と TF 値の関係

上記理論式より求めた推定気泡量と密度比との関係を図-2 に示す。

含水比一定で気泡量のみ変化させ、1 時間経過後の密度比変化を計測した。また、同様の方法で含水比が異なる 6 ケース実験を行った。

設計気泡量(含水比 12.3%、13.3%)を表-3 に示す。設計気泡量と比べて気泡量が増加している。このことから、実験中に再発泡現象が起きていることが分かる。図-2 より、含水比が小さいほど設計気泡量と推定気泡量の差が大きく、再発泡現象が起きやすいことがわかる。また、推定気泡量一定の場合(例えば 38% 付近)、含水比が大きいほど分離しやすい傾向がある

図-3 に推定気泡量と TF 値との関係を示す。含水比が比較的大きいケースでは、推定気泡量が多いほど流動性が大きいという傾向が見られた。一方、含水比が小さくなると、気泡の粘性の影響や単位体積重量が小さくなること等から、TF 値という指標においては、推定気泡量が多くなるほど流動性が低下するという傾向が見られた

表-4 に各近似曲線の決定係数を示す。図-2 に関しては密度比 $d=1.02$ 付近のものに対しては推定気泡量と密度比の相関性があることが分かった。このことから、分離含水比付近においては密度比に対する気泡量の影響が大きい。

4. 本研究のまとめ

- 1) 分離含水比付近では、推定気泡量が増加するほど、気泡ソイルセメント安定液が分離しやすくなることが確認できた。
- 2) 気泡ソイルセメント安定液の TF 値は、推定気泡量の影響を受けることが確認できた。特に、含水比が小さくなると、気泡の粘性の影響や単位体積重量が小さくなることから、推定気泡量が多くなるほど TF 値が小さくなるという傾向が見られた。
- 3) 実験結果から密度比および TF 値を導出する際、推定気泡量を説明変数の 1 つとすることが望ましいと思われる

謝辞

本研究は、気泡工法研究会 AWAED-Para 工法研究会(戸田建設株式会社、株式会社エムオーテック、大洋基礎工業株式会社、株式会社地域地盤環境研究所、西松建設株式会社、前田建設工業株式会社、有限会社マグマ)との共同研究で得られた成果であり、ここに記して謝意を表します。

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
- 3) 重田 恭兵, 赤木 寛一ら: 気泡ソイルセメント安定液におけるセメントの分離含水比への影響について 第 13 回地盤工学会関東支部発表会 2016.10

表-3 設計気泡量

気泡倍率	設計気泡量(%)	
	w:12.3%	w:13.3%
25	27.4	27.3
20	21.8	22.1
15	16.9	16.8
10	11.2	11.2

表-4 各近似直線の決定係数

含水比(%)	決定係数	
	図2	図3
12.3	0.0015	0.6589
13.3	0.1938	0.0049
14.2	0.0164	0.221
15.2	0.4479	0.6546
16.1	0.4465	0.3588
17.1	0.8257	0.3346