

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

AWARD 工法 気泡ソイルセメント安定液 分離含水比

早稲田大学 学生会員 ○重田 恭兵
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
早稲田大学 学生会員 若松 大幹

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）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 工法と比較してセメント量、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、ソイルセメント改良体の構築を行っている。施工中の溝壁安定性は気泡、固化液及び原地盤土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。その中で気泡安定液は加水量が多い場合、比重の大きい土粒子が沈降し安定液の懸濁状態が崩れてしまう。このような含水比を分離含水比と定義されている。理想的な気泡安定液の状態を保つには含水比を分離含水比以下に設定することが望ましい。しかし、気泡安定液にセメントが混入することで気泡ソイルセメント安定液として、セメント粒子の吸水作用や水和反応など新たな影響要因が加わる。

本研究では、気泡ソイルセメント安定液の分離含水比の指標化を目的として、セメント量を変化させながら実験的検討を試みた。その結果について述べる。

2. 実験手順

気泡ソイルセメント安定液の分離含水比の指標化を試みるために、各配合で実験的にセメント添加率と密度比の関係を調査した。実験手順を以下に示す。

① 気泡ソイルセメント安定液の作製

所定量の試料土（2000g）に、表 2 に示す配合でセメントと水を混合したセメントスラリーを加え、ホバートミキサーを用いて 3 分間攪拌混合した。その後、気泡添加率 1.0%（気泡添加率=気泡質量/乾燥土質量）として気泡 20g 添加し、ホバートミキサーを用いて 3 分間攪拌混合した。ここで、気泡は起泡剤を 25 倍（起泡倍率:25）に発泡させたものである。

② 密度比の測定

各々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、初期密度を測定した。1 時間後に上下分割モールドを切り離し、上部密度、下部密度とさらに密度比（下部密度/上部密度）を求めた。

なお、気泡工法における安定液の分離状態を規定する密度比=1.02¹⁾を援用し、そのときの含水比を分離含水比とする。

表 1. 実験材料

試料土	東北珪砂5号(乾燥状態)
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)

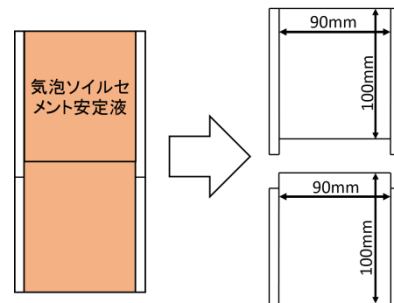


図 1. 上下分割モールドを用いた分離試験の概要

表 2. 気泡ソイルセメント安定液の配合表

ケース	セメントスラリー		セメント添加率 ^{※1} (%)	全体含水比 ^{※2} (%)
	セメント量(g)	水量(g)		
1~6	91	230~340	4.6	12.0~17.2
7~11	111	210~340	5.6	10.9~17.1
12~15	131	240~340	6.6	12.2~16.9
16~20	151	230~320	7.6	11.6~15.8
21~25	201	250~310	10.1	12.3~15.0
26~30	251	270~360	12.6	12.9~16.9

$$\text{※1 セメント添加率} = \frac{m_c}{m_s} \times 100 (\%)$$

$$\text{※2 全体含水比} = \frac{m_w + m_a}{m_s + m_c} \times 100 (\%)$$

ここに、 m_w :水の総量(g) m_a :気泡添加量(g)
 m_s :試料土の乾燥質量(g) m_c :セメントの質量(g)

3. 実験結果

実験結果よりセメント添加率ごとの含水比と密度比の関係を図 2 に示す。

図 2 より含水比が増加するにつれて密度比が増加する傾向が確認され、土粒子の沈降が生じて、分離しやすいということが分かる。

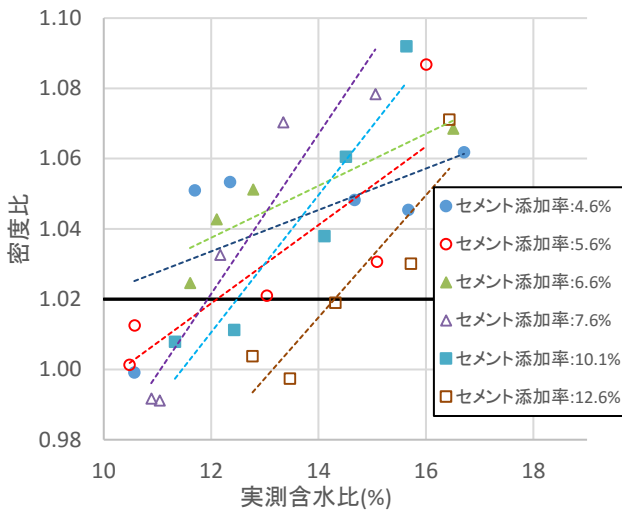


図 2. セメント添加率ごとの含水比と密度比の関係

各セメント添加率の関係に相関性はあるが、ばらつきがあることから含水比とセメント添加率の他に要因があると予想した。

すべてのケースにおいて理論密度よりも実測密度が小さいことが確認された。実験手順としてホバートミキサーを用いて攪拌混合を行うため、安定液中の気泡が大気中の空気を取り込み気泡添加率の起泡倍率(25 倍発泡)以上に発泡し、混練中の起泡剤の再発泡現象が考えられる。そのため気泡安定液の理論密度式(式 1)を用いて、得られた安定液密度から起泡倍率を求め(以下、逆算起泡倍率)、回帰分析のパラメータの一つとして反映することで各ケースを等しい条件に揃えた。なお、ここでは起泡倍率の差による気泡の性状及びその作用については影響がないものと仮定する。

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

ここに、 A_a :起泡倍率 ρ :安定液の理論密度(g/cm^3)
 ρ_w :水の密度(g/cm^3) ρ_a :起泡剤の密度(g/cm^3)
 ρ_s :試料土の土粒子密度(g/cm^3)
 ρ_c :セメントの密度(g/cm^3)

説明変数をセメント添加率、含水比、逆算起泡倍率、目的変数を密度比として回帰分析を行った結果を式 2 に示す。

$$(\text{密度比}) = -0.0074P' + 0.0094w + 0.0054A'_a + 0.768 \quad \dots(\text{式 2})$$

ここに、 P' :セメント含有率(%), w :含水比(%)
 A'_a :逆算起泡倍率

式 2 より算出した予測密度比と実測密度比の関係を図 3 に示す。

以上より、式 2 から密度比を 1.02 として、セメント添加率が定めれば、東北珪砂 5 号、気泡添加率 1.0% に対するそのセメント添加率での分離含水比が求まる。

式 2 の第一項は、セメント添加率の増加によって分離を防ぐ傾向を示している。なおこの効果は、添加率の増加による細粒分含有率の増大とともにセメントの水和反応の影響も含まれていると考えられる。第二項、第三項は、含

水比、逆算起泡倍率の増加で土粒子の沈降による分離を促進する傾向を示している。

以上のような傾向は従来の知見と合致し、式 2 は妥当なものだと判断できる。式 2 の定数項には本実験で一定とした粗粒分の比表面積、気泡添加率等の要因が含まれている。そのため、分離に係る条件を今後増やしていけばこの項の定式化が可能と言える。

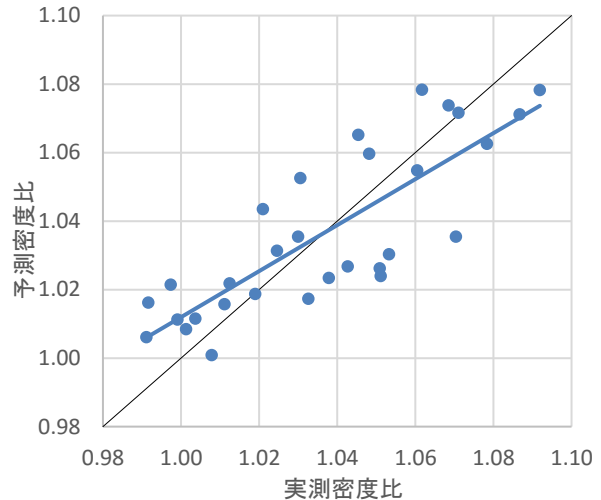


図 3. 予測密度比と実測密度比の関係

4. まとめ

(1) 今回の気泡ソイルセメント安定液の室内実験において、再発泡現象が確認された。この現象を含めて配合試験を評価するために逆算起泡倍率という概念を反映させた結果、整合性が得られることが分かった。

(2) 安定液の分離含水比におよぼす影響要因は本研究で取り扱ったもの以外にも複数存在している。パラメータを粗粒分の比表面積、気泡添加率、細粒分含有率、細粒土の液性限界を含めて回帰分析を行うことで、より正確な分離含水比の指標化が可能と考えられる。

(3) 分離含水比の他に気泡ソイルセメント安定液に重要な要因として最小含水比がある。これは試料土に対し加水量が少ない場合、土の吸水作用によって気泡の水分が奪われて消泡してしまう。このように消泡が生じない最小の含水比のことを最小含水比と定義されている¹⁾。分離含水比と最小含水比の両方を指標化することによって、その原地盤土にあった最適な気泡ソイルセメント安定液の配合を組むことができる。今後はそのための実験を進めていきたい。

本研究は、気泡工法研究会 AWARD-Para 工法研究会(戸田建設(株)、(株)エムオーテック、太洋基礎工業(株)、(株)地域地盤環境研究所、西松建設(株)、前田建設工業(株)、(有)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