

## 気泡ソイルセメント安定液の流動性に関する研究

AWARD 工法 気泡ソイルセメント安定液 テーブルフロー値

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	前田建設	正会員	安井 利彰
マグマ	国際会員	近藤 義正	戸田建設	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）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。また地中連続壁の施工において、所定の流動性を常時保持していなければならない。流動性に影響を及ぼす要因として気泡量  $q$ 、含水比  $w$ 、比表面積  $S$ 、細粒分含有率  $P$ 、液性限界  $w_L$ 、セメント添加率  $P'$  を取り上げ、以上のパラメータと流動性の関係を調査した。

本研究では、気泡ソイルセメント安定液の流動性の指標化を目的として、各要因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

流動性を表す指標としてテーブルフロー値（以下、TF 値）は広い範囲の流動性を表すことができるので、本研究では TF 値を採用することにした。なお、TF 値の測定はセメントの物理試験方法（JIS R 5201）により規定されたモルタルのフロー値を計測する装置および計測方法により行った。

気泡ソイルセメント安定液の流動性（TF 値）の指標化を試みるために、各配合で実験的に各要因と TF 値の関係を調査した。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

所定量の試料土に、各配合でセメントと水(水道水)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。その後気泡を所定量添加し、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 TF 値の測定

付属の台形容器（上部  $\phi 70\text{mm}$ 、下部  $\phi 100\text{mm}$ 、高さ  $60\text{mm}$ ）をテーブルの中央に置き、気泡ソイルセメント安定液で満たす。次に台形容器を取り外し、装置のハンドルを1秒間に1回、計15回まわす。

TF 試験装置および計測状況を図1に示す。図1のように広がった気泡ソイルセメント安定液の最大直径(mm)とそれに直交する直径(mm)を計測し、最大直径と直交する直径の値の平均を TF 値(mm)とする。



図1. テーブルフロー測定の場合

本研究の実験では理論密度より実測密度が小さくなる現象が確認された。安定液の作成時ホバートミキサーを用いて攪拌混合を行った。その時に発泡していた気泡が攪拌混合によって所定以上に発泡してしまう現象がモルタルに含まれる空気量を測定する装置エアメーターとの比較を行うことで確認された。それを再発泡現象と呼び、その差を式1で安定液中に含まれる空気量(気泡量)で求め TF 値に影響を与える要因の一つとした。

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

$$V_{air} = m_a \times A_a'$$

$$\text{気泡量 } q = \frac{V_{air}}{V} \times 100 (\%) \quad \dots(\text{式 } 1)$$

$m_w$ : 水の総量(g)

$\rho_w$ : 水の密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_a$ : 気泡添加量(g)

$\rho_a$ : 起泡剤の密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_s$ : 試料土の乾燥質量(g)

$\rho_s$ : 試料土の乾燥質量( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_c$ : セメントの質量(g)

$\rho_c$ : セメントの密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$A_a'$ : 逆算起泡倍率

$\rho$ : 安定液の実測密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### 3. 実験結果

各要因と TF 値の関係を指標化するために、目的変数を TF 値とし説明変数を各要因で回帰分析を行い TF 値の状態式を求めることとした。

また、既往の研究により気泡ソイルセメント安定液の TF 値は細粒分含有率  $P$  が 10% 以下では細粒分添加による土粒子間の潤滑効果が卓越して TF 値が増加し、10% 以上になると過剰な細粒分により粘性が増加し TF 値は減少すると分かっている。そのため領域を  $P < 10$ 、 $P \geq 10$  で区切り回帰分析を行うこととした。

#### 3-1. $P < 10$ のとき TF 値の状態式

回帰分析による  $P < 10$  のときにおける TF 値の状態式を式 2 に示す。また式 2 より導出した予測 TF 値と実測 TF 値の比較の図 2 に示す。

$$(TF \text{ 値}) = 4.561w - 0.775q - 0.136S - 0.251P' + 267.1 \quad \cdots(\text{式 2})$$

ここに

$w$ :含水比(%)  $q$ :気泡量(%)  $S$ :比表面積( $m^2/kN$ )

$P'$ :セメント添加率(%)

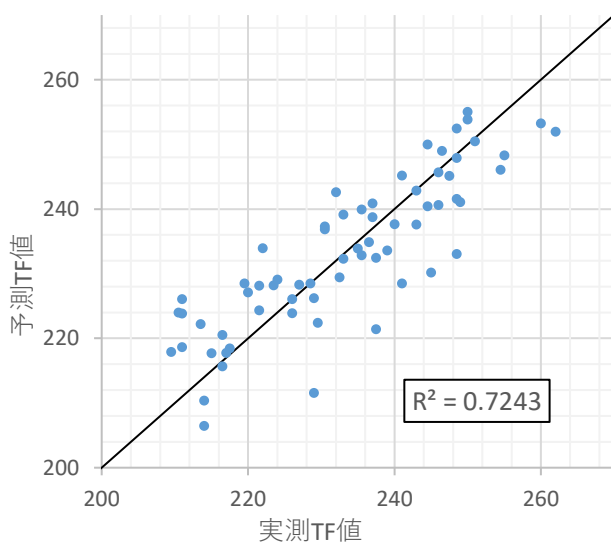


図 2  $P < 10$  における回帰分析による予測 TF 値の比較

#### 3-2. $P \geq 10$ のとき TF 値の状態式

回帰分析による  $P \geq 10$  のときにおける TF 値の状態式を式 3 に示す。また式 3 より導出した予測 TF 値と実測 TF 値の比較の図 3 に示す。

$$(TF \text{ 値}) = 3.96w - 0.0756q - 6.12P' - 4.84P - 1.82w_L + 251.2 \quad \cdots(\text{式 3})$$

ここに

$w$ :含水比(%)  $q$ :気泡量(%)  $P'$ :セメント添加率(%)

$P$ :細粒分含有率(%)  $w_L$ :液性限界(%)

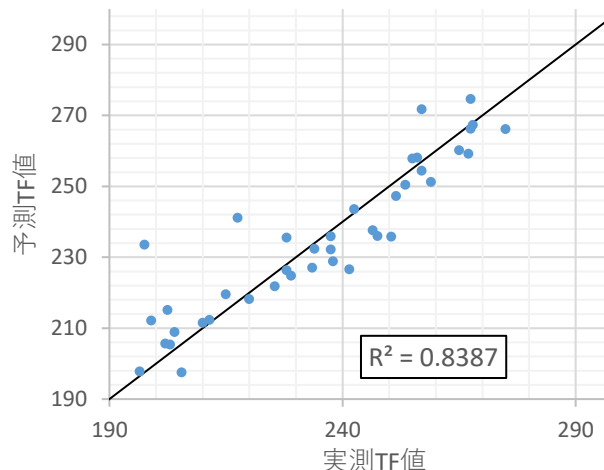


図 3  $P \geq 10$  における回帰分析による予測 TF 値の比較

図 2、図 3 の決定係数より各要因と TF 値には高い相関性が見られた。

式 2、式 3 より含水比が増加すると流動性が高くなり、気泡量、比表面積、セメント添加率、細粒分含有率、液性限界が増加すると流動性が低くなる傾向を示している。

### 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気泡量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) 本実験では式 2 において細粒分含有率、液性限界の係数、式 3 において比表面積の係数を表すことができなかった。安定液の流動性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と考えられるため、今後もさらに実験を行っていきたい。

(3) 本研究で取り扱った実験データの TF 値は最高で 280mm、最低で 190mm 程度であり、実施工で TF 値の状態式を用いる場合、TF 値が最低でも 150mm 程度は正確に計りたい。さらに幅広い TF 値の実験データを得ることで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) 平岡斉昭: 地中連続壁の安定液, 参加移動, 1991, 8