

気泡ソイルセメント安定液の流動性について

早稲田大学大学院 学生会員 ○若松 大幹
早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
早稲田大学 学生会員 大山 哲也

1. 研究目的

地中連続壁工法の一に 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、環境負荷の低減、品質向上及びコストの削減を実現してきた。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)を取り、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及び分離含水比、溝壁安定性を管理する最大気泡添加率、流動性を管理する最小気泡添加率がある。

これらの管理指標は、室内配合実験により、掘削土の物性値、添加する気泡の添加率、及び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、実際の工事では掘削時に気泡とともにセメントを注入しながら施工する場合もある。その場合、上記の気泡安定液管理図ではセメントの影響を考慮されていないため、セメントの添加を考慮した気泡ソイルセメント安定液(以下、安定液)の新しい管理図の作成が必要となる。

本研究では、セメントを添加した気泡ソイルセメント安定液の流動性に影響するとされている掘削土の各要因(S : 比表面積 m²/kN、P : 細粒分含有率(%), w_L : 液性限界(%), P'セメント添加率(%))と w:安定液の全体含水比及び Q : 気泡添加率(%)の関係の実験的検証を行うとともに、その結果から TF 性状式の導出を試みた。

また、気泡添加率 Q の式を以下に示す。

$$Q(\%) = \frac{\text{気泡の質量}(g)}{\text{土の乾燥質量}(g)} \times 100$$

$$w(\%) = \frac{\text{加水量}(g) + \text{セメントミルクの水量}(g) + \text{気泡の質量}(g)}{\text{土の乾燥質量}(g) + \text{セメントの乾燥質量}(g)}$$

$$P'(\%) = \frac{\text{セメントの質量}(g)}{\text{土の乾燥質量}(g)} \times 100$$

2. 実験概要

表-1 に実験に使用した材料を示す。実験手順は以下のとおりである。攪拌混合にはホバートミキサーを用いた。

- ① 試料土(2000g)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。その後所定量の気泡を添加し再度 3 分間攪拌混合を行った。ここで、初期状態の気泡は水で 20 倍に希釈した起泡剤を 25 倍に発泡したものである。
- ② フローテーブルの上の中心位置に測定する試料を入れるフローコーンを設置し 2 層に気泡ソイルセメント安定液を詰めた後表面をならす。
- ③ フローコーンを垂直方向に取り去り、15 秒間に 15 回の落下運動を与え、安定液が広がった後の径を最大と認める方向と、これに垂直な方向とで 1mm 単位まで測定する。

表-1 使用した材料

試料土	K:珪砂4~7号、Ki:木節粘土、Ka:カオリン、Fu:藤森粘土
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)

3. 実験結果及び考察

3.1 全体含水比と TF 値の関係

図-1 から図-3 に全体含水比と TF 値の関係を示す。変数は、図-1 が比表面積、図-2 が細粒分含有率と液性限界、図-3 がセメント添加率である。

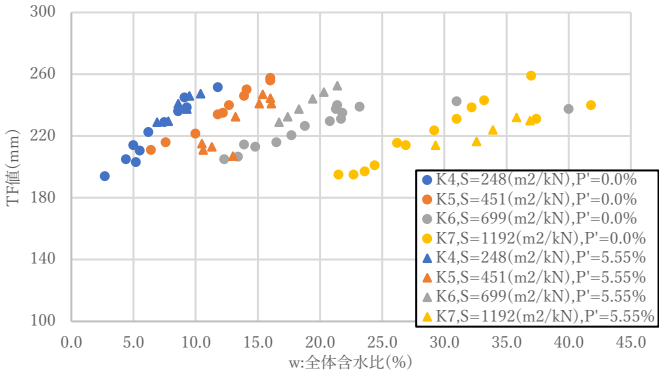


図-1 全体含水比と TF 値の関係(変数：比表面積)

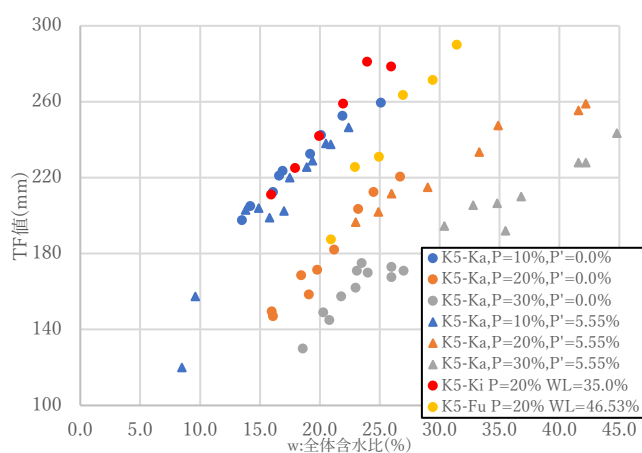


図-2 全体含水比と TF 値の関係(変数：細粒分含有率・液性限界)

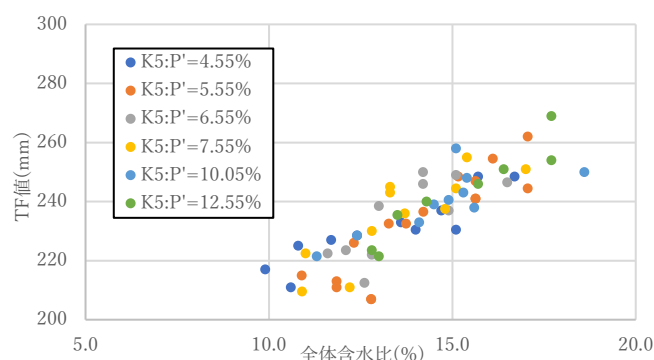


図-3 全体含水比と TF 値の関係(変数：セメント添加率)

実験結果から全体含水比と TF 値の間に線形の関係を示すことが分かった。また、各要因が増加するとともに TF 値を低下させる影響があることが示せた。セメント添加の影響については、図-2 からセメントを添加しても線形の関係になる、図-3 からセメント添加率が増加するとともに TF 値がわずかに低下することから、TF 値に対し細粒分と似たような影響を及ぼすが影響は細粒分よりも小さいと考えられる。

3.2 気泡添加率と TF 値の関係

図-4 と図-5 に気泡添加率と TF 値の関係を示す。図-4 は粗粒分みのケース(変数：比表面積)、図-5 は細粒分が含有しているケース(変数：細粒分含有率)である。

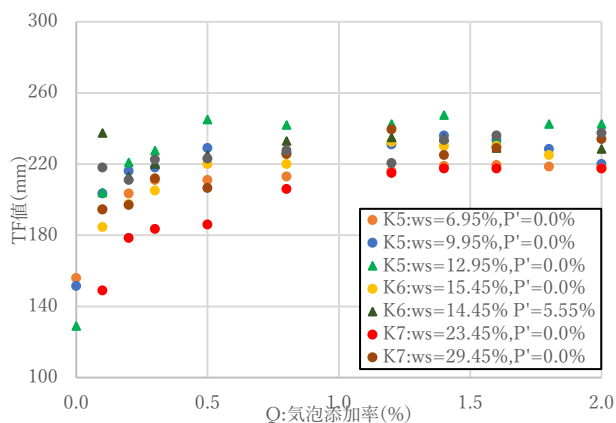


図-4 気泡添加率と TF 値の関係(変数：比表面積)

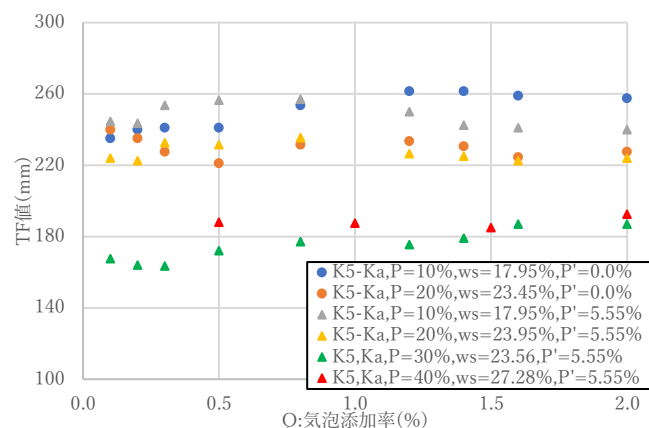


図-5 気泡添加率と TF 値の関係(変数：細粒分含有率)

図-4 から $Q < 0.5\%$ では TF 値が増加するのに対し、 $Q \geq 0.5$ では TF 値が一定になる傾向を示した。これは、気泡添加率 $Q < 0.5\%$ では添加した気泡が土粒子間に入り込み土粒子同士の接触を減少させ摩擦力の減少に効果を及ぼすがそれ以上添加させると気泡が過剰になるため流動性に影響を及ぼさなくなると考えられる。これに対し、図-5 のような細粒分含有率が $P \geq 10\%$ のケースでは気泡添加率による影響が小さいことが分かる。以上のことから TF 性状式作成の際に $P < 10\%$ かつ $Q < 0.5\%$ のケース、 $P < 10\%$ かつ $Q > 0.5\%$ のケース、 $P \geq 10\%$ のケースの 3 種類で場合分けが必要となる。

3.3 TF 性状式導出

$P \geq 10\%$ の実験結果を用い重回帰分析により TF 性状式を導出した。

・掘削土の細粒分含有率 $P \geq 10\%$ のとき

$$(TF \text{ 値}) = (0.00396S + 0.0392P + 0.0490w_L - 0.200P') \times w \\ + (-0.132S + 0.509P + 0.960w_L - 0.508P') \times Q \\ + (-0.0860S - 5.63P - 4.11w_L + 3.31P') + 459.52$$

補正重決定係数 $R^2 = 0.8293$ サンプル数 $N = 225$

4. まとめ

・各要因が TF 値に影響を及ぼし、TF 性状式を導出する際に掘削土の細粒分含有率、気泡添加率によって場合分けが必要になることを確認した。

・実験結果から $P \geq 10\%$ における TF 性状式を導出した。

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。

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