

# 最小含水比試験による気泡混合土の性状の把握

気泡混合土 消泡 最小含水比

早稲田大学 学生会員 ○平田 光彦  
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一  
早稲田大学 学生会員 大山 哲也

## 1. 概要

気泡シールド工法は、土圧式シールド工法の添加剤として気泡を使用したものである。近年では、大深度地下を利用した大規模プロジェクトにも多く用いられている。気泡を掘削用安定液に適用している場合は、気泡を吐出しながら地山の貫入掘削を行うことで、気泡混合土を造成する。掘削土、気泡及び水の混合比率を適切に調整することにより、それぞれが分離することなく懸濁状態を保つことが可能である。その結果、環境負荷が少ない、施工品質が高い、施工費の低減、施工および施工管理が容易といった特徴がある。

気泡シールド工法の実施工において、注入した気泡が切羽から地盤内に漏れ、地表面に漏気している例がみられる。これは、チャンパー内の気泡混合土に含まれる気泡が破泡し、その空気が漏出していることに起因すると考えられる。気泡は界面活性剤を起泡させることにより発生するため、このような消泡が生じる原因は気泡の水分が土粒子に奪われること等が考えられる。

地盤掘削用安定液として土と気泡を混合、攪拌した際に消泡が生じない最小の含水比を、最小含水比  $w_{min}$  と定義している。本研究では、最小含水比試験により最小含水比  $w_{min}$  を確認し、実施工において消泡、そして地表面への漏気が発生しないような施工条件について検討した。

## 2. 試験内容

まず試料土を含水比調整し、それぞれの起泡剤を所定の希釈率、起泡倍率で起泡剤を添加した。その際、気泡添加率が30%となるように気泡を添加している<sup>2)</sup>。次に、大気圧下、拘束圧下のそれぞれの試験条件について湿潤密度を測定する。このときの拘束圧は430kPaであり、大深度地下の施工時における土かぶり圧の影響を想定している。配合から決まる理論湿潤密度と実測湿潤密度を比較し、最小含水比  $w_{min}$  の推定を行った。

最小含水比試験結果の一例を図-2.1に示す。グラフ上の青色の実線が理論湿潤密度、橙色の破線が実測湿潤密度であるが、この交点の含水比を最小含水比  $w_{min}$  とする。この交点より低含水比側では消泡が発生しているため、実測値が理論値を上回っている。一方で高含水比側では、気泡の体積が所定より大きくなってしまふ再発泡現象が起こっており、実測値が理論値を下回る結果となる<sup>3)</sup>。したがってこの2つのグラフの交点が、消泡が発生しないことに加え、気泡が規定倍率で混合される最小の含水比となる。

本実験で用いた試料土は現場より採取した4種類であり、それらの基本物性を表-2.1に示す。シールドマシンのチャン

パー内では、気泡混合土が塑性流動状態であることが求められるため、最小含水比  $w_{min}$  は塑性限界  $w_p$  から液性限界  $w_L$  までの範囲の値になることが目標となる。

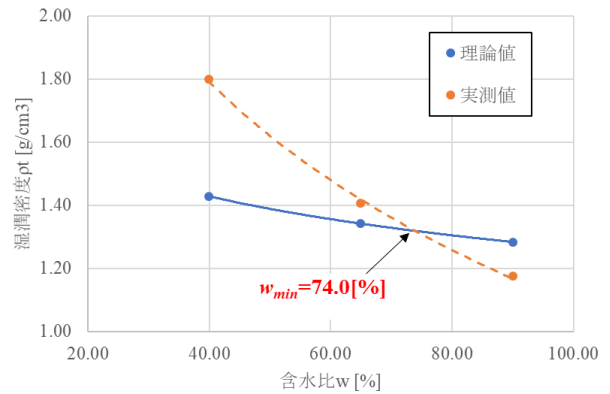


図-2.1 最小含水比試験結果の一例

表-2.1 各試料土の基本物性

試料土の種類	自然含水比 $w_n$ [%]	液性限界 $w_L$ [%]	塑性限界 $w_p$ [%]
A:砂質細粒土	28.6	47.59	30.26
B:砂質細粒土	28.4	42.28	30.68
C:細粒分まじり砂	13.8	NP	NP
D:砂礫質細粒土	29.8	46.52	31.92

## 3. 試験結果と考察

実施ケースと実験結果の一覧を表-3.1に示す。今回は4種類の試料に加えて起泡剤4種類、圧力条件2通りの全16ケースの実験を実施した。4種類の起泡剤I~IVは、すべて界面活性剤系の試料である。最小含水比  $w_{min}$  は塑性限界  $w_p$  から液性限界  $w_L$  までの範囲の値になることが目標と前述したが、表-3.1より液性限界  $w_L$  を大きく超える最小含水比  $w_{min}$  となることが確認された。

試料Aを用いたケース1~ケース3について、実験結果のグラフを図-3.1~図-3.3に示す。図-3.1より、含水比を増大させる、つまり加水をするほど実測値が理論値に近づき、消泡を抑制していることが確認された。

図-3.1と図-3.2より、圧力条件の影響について考察する。図-3.1が大気圧下、図-3.2が拘束圧下における実験結果である。最小含水比の値に多少の違いはあったものの、おおむね同様な概形を示している。したがって、拘束圧下においても高含水比にすることで消泡を防止できていると考えられる。

図-3.1と図-3.3より、起泡剤の影響について考察する。図-3.1が起泡剤I、図-3.3が起泡剤IIを用いた実験結果である。

図-3.3より、起泡剤IIを用いた気泡混合土は、加水を行っても実測湿潤密度は理論値に近づかず、消泡が抑制できていないことが確認された。

表-3.1 最小含水比試験の実施ケースおよび結果一覧

Case No.	試料	起泡剤の種類	圧力条件	最小含水比 $w_{min}$ [%]
1	A	I	大気圧	91.3
2			拘束圧(430kPa)	116.4
3		II	大気圧	>100
4			拘束圧(430kPa)	127.9
5	B	III	大気圧	>100
6			拘束圧(430kPa)	93.9
7		IV	大気圧	100.8
8			拘束圧(430kPa)	74.0
9	C	III	大気圧	>50
10			拘束圧(430kPa)	27.7
11		IV	大気圧	>50
12			拘束圧(430kPa)	38.3
13	D	III	大気圧	54.2
14			拘束圧(430kPa)	59.8
15		IV	大気圧	71.2
16			拘束圧(430kPa)	49.3

#### 4. まとめ

本研究では、4種類の試料土による気泡混合土の最小含水比  $w_{min}$  を求めたが、その値はほとんどのケースについて液性限界  $w_L$  を大きく上回る結果となった。そのなかで得られた成果を以下に列記する。

- 1) 最小含水比の値について、圧力条件とのあいだに相関はみられない。
- 2) 土質や起泡剤の種類によっては、加水を行い高含水比にすることで消泡の防止は可能である。
- 3) 気泡シールド工法のチャンバー内土砂の実用的な流動性の範囲において、加水を行い高含水比にすることによる消泡の防止は困難である。

今回の一連の結果より含水比を増大させても、実用的な流動性の範囲内では完全な消泡を防ぐことはできなかった。また、含水比を増減させることで消泡の防止を図ったが、消泡の原因を明らかにすることはできなかった。今後はその他の土質や起泡剤、または圧力変動などの条件を変えて、消泡の原因を解明していくことが課題となる。

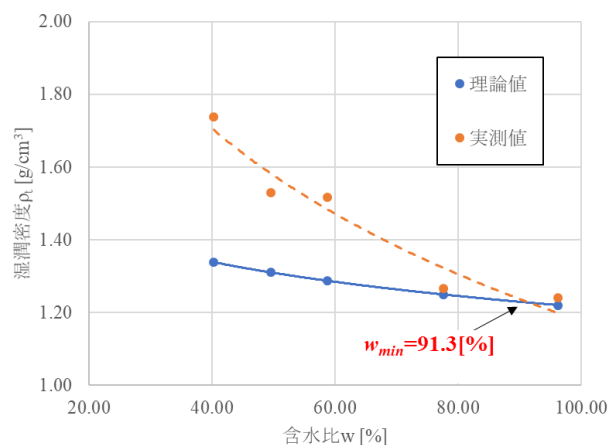


図-3.1 湿潤密度と含水比の関係(ケース 1)

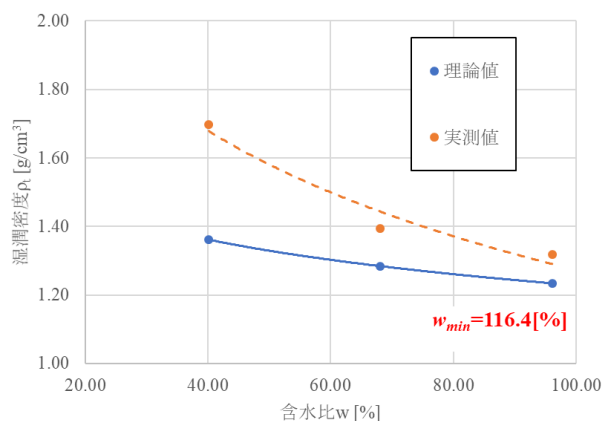


図-3.2 湿潤密度と含水比の関係(ケース 2)

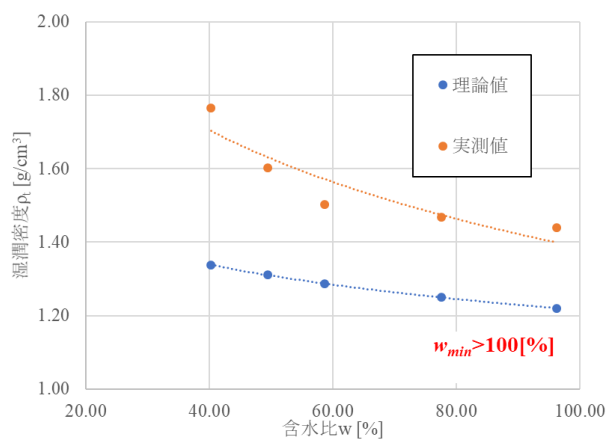


図-3.3 湿潤密度と含水比の関係(ケース 3)

#### 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
- 2) 気泡シールド工法-技術資料-, シールド工法技術協会, 2011, 8
- 3) 平田光彦, 赤木寛一, 大山哲也: 配合試験時の攪拌羽根の形状が気泡混合土の性状に及ぼす影響, 第 16 回地盤工学会関東支部発表会, 2019, 10