

配合試験時の攪拌羽根の形状による気泡混合土の性状

気泡シールド工法 攪拌羽根 逆算起泡倍率

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として気泡を使用したものである。近年では、中央リニア新幹線や東京外郭環状道路など、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。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。

気泡シールド工法では規定起泡倍率を設定し、その体積となるように気泡を作製するとしている。実際の施工に先立ち、気泡混合土の基本性能を室内配合試験により調査する必要がある。しかし気泡と試料土を混合する際、攪拌時に多くの空気を巻き込み、試料土の土性によっては規定より高い空気量になり大きい起泡倍率となる事が確認されている。これを「再発泡現象」と呼ぶ。なお、実際の工事においてこの現象が発生すると、気泡と掘削土が分離して密度が不均一となり、円滑な施工が妨げられる恐れがあるため、気泡安定液管理図¹⁾などを用いて施工管理を行っている。

室内配合試験では、この再発泡現象を抑制し気泡混合土の性状をより正確に把握することが求められる。本研究では、気泡と試料土の攪拌時に用いる攪拌羽根として木の葉型(図-1.1)とJフック型(図-1.2)の2種類の形状を用いて作製した気泡混合土の性状を比較検討した。



図-1.1 木の葉型攪拌羽根



図-1.2 Jフック型攪拌羽根

2. 試験内容

表-2.1の試験条件で気泡を添加して、図-2.1の攪拌装置を用いて気泡混合土を作製した。ここで、気泡添加率は式-1で定義する。

$$\text{気泡添加率 } Q[\%] = \frac{\text{気泡の質量}[g]}{\text{試料土の乾燥質量}[g]} \times 100 \quad (\text{式-1})$$

本実験で用いた試料土の配合を表-2.2に示す。なお、含水比は20%に統一している。各ケースで攪拌時間ごとに気泡混合土のTF値と湿潤密度 ρ_t を測定し、性状を確認した。

表-2.1 試験条件

Case	攪拌羽根	気泡添加率 Q [%]
1	木の葉型	0.2
2	Jフック型	0.2
3	木の葉型	0.5
4	Jフック型	0.5
5	木の葉型	0.8
6	Jフック型	0.8

表-2.2 試料土の配合

土質名称	割合
3号珪砂	20%
7号珪砂	70%
木節粘土	10%



図-2.1 攪拌装置

起泡倍率が A[倍]の時の気泡混合土の湿潤密度 ρ_t は式-2で求まる²⁾。なお、目標の起泡倍率 A は 25 とした。

$$\rho_t = \frac{M_s + M_w + M_f}{\frac{M_s}{\rho_s} + \frac{M_w}{\rho_w} + \frac{M_f}{\rho_f}} \times A \quad (\text{式-2})$$

M_s : 試料土乾燥質量
 M_w : 試料土間隙水質量
 M_f : 起泡剤質量
 ρ_s : 土粒子密度
 ρ_w : 水の密度
 ρ_f : 起泡剤密度

3. 試験結果と考察

図-3.1は攪拌時間の経過と湿潤密度 ρ_t の変化を示す。いずれのケースにおいても、攪拌時間の経過とともに湿潤密度が減少し、再発泡現象が生じていることが伺える。

図-3.2は攪拌時間の経過とTF値の変化を示す。木の葉型(図中の実線)、Jフック型(図中の点線)のいずれの攪拌羽根でも、気泡添加率を増加させるとTF値は大きく

なり、流動性が増していくことが確認される。しかしながら、攪拌時間の経過による TF 値の減少は僅かである。これは、本試験法による流動性はフローテーブルの落下による混合土の流動を求めるため、前述した攪拌時間の経過による湿潤密度の減少で実際の流動性低下を過小評価していることも考えられる。

測定された湿潤密度 ρ'_t から起泡倍率は下式で求めることが出来る。

$$A = \left\{ M_s + M_w + M_f - \rho_t \left(\frac{M_s}{\rho_s} + \frac{M_w}{\rho_w} \right) \right\} \times \frac{\rho_f}{\rho_t} M_f \quad (\text{式-3})$$

この起泡倍率を「逆算起泡倍率 A'」とし、目標の起泡倍率 25 と比較して攪拌羽根の形状による混合土の性状を比較したものを図-3.3 に示す。再発泡現象が生じた際には A' は 25 以上の値を示すことになる。

いずれのケースについても、攪拌を続けると逆算気泡倍率が増加し、気泡添加率が小さいほど倍率が高く再発泡の程度が大きいことが確認される。

一方、図中点線の J フック型の湿潤密度が実線の木の葉型より大きくなっていることから、J フック型は再発泡現象を抑制しているものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、起泡倍率が 25 倍となるような気泡混合土の作製を目指したが、いずれのケースについてもその値を大きく上回る結果となった。そのなかで得られた結果を以下に列記する。

- ① 攪拌時間を長くするほど、湿潤密度が小さく、逆算気泡倍率が大きくなり、高い再発泡が生じる。
- ② 攪拌時間が短いことで十分な流動性が得られない可能性があったが、攪拌時間によらず TF 値はおおよそ一定である。したがって、目視で十分な混練が確認できる場合、攪拌時間は可能な限り短くすることが好ましいと考える。
- ③ 気泡添加率が小さいほど起泡倍率が高く再発泡の程度が大きくなる結果が得られたが、現状では原因は不明である。
- ④ 攪拌羽根の形状は、木の葉型に比べて J フック型は逆算気泡倍率が小さく、再発泡を抑制する。このことから、配合試験時の気泡混合土の攪拌時には、J フック型攪拌羽根が好ましいと考える。

今回の一連の結果で J フック型攪拌羽根を用いても、目標の起泡倍率 25 倍には十分に近づけることができなかった。ケース 6 の攪拌時間 3 分でも、およそ 1.5 倍の起泡倍率のとなっている。配合試験での誤差は施工時の配合の基本であり、今後も攪拌羽根の形状や、その回転速度、さらには試料土の土性を変えて気泡混合土の最適な作製方法を確認していく必要がある。

最後に、本研究は気泡工法研究会の支援により得られた成果であり、記して、謝意を表す。

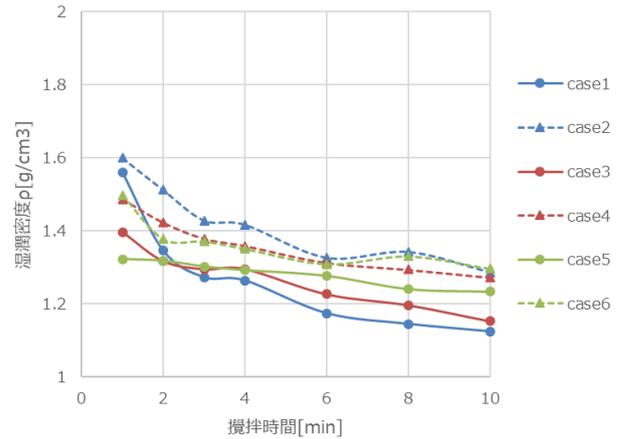


図-3.1 攪拌時間と湿潤密度の関係

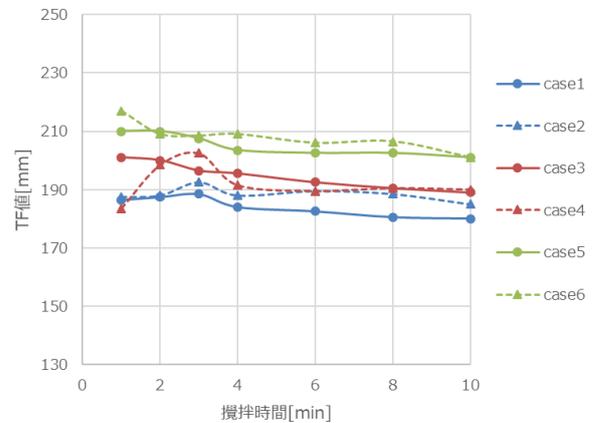


図-3.2 攪拌時間と TF 値の関係

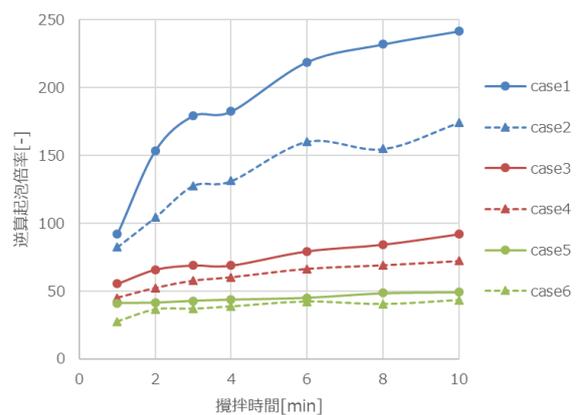


図-3.3 攪拌時間と逆算起泡倍率の関係

5. 参考文献

- 1) AWARD-Ccw 工法 技術積算マニュアル, 気泡工法研究会, 2014, 4
- 2) 大山哲也, 赤木寛一, 若松大幹: 気泡ソイルセメント安定液の分離抵抗性について, 土木学会平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会, 2018, 9