

第Ⅲ部門 シールド工法に適用される気泡混合土の流動性とその影響要因

大阪大学 学生員 ○三池 瑠衣
 大林組 正会員 木村 志照
 大林組 正会員 三浦 俊彦
 大阪大学 正会員 緒方 奨
 大阪大学 正会員 乾 徹

1. はじめに

シールド工法とは代表的なトンネル掘削工法のひとつであり，軟弱地盤でも適用可能であることから広く利用されている．掘削土の流動性を高めるために，水などの添加剤を混ぜるが，掘削残土は含水比が高くなるため再利用が困難である．そこで排出土を再利用するために，添加剤として気泡を混合する気泡シールド工法が注目されている．気泡混合土は，気泡が消失すると流動性が低下するため，排土の再利用が容易となる．流動性など，気泡混合土の性質には，地山の土質，起泡剤の種類，濃度，発泡倍率，注入量が影響を与えているが，これらの要因がどの程度寄与しているかなど，解明されていない点が多い．そこで本研究では，流動性とそれに寄与する要因を解明することを目的に試験を行った．

2. 試験方法

2.1 使用材料 本研究では，土試料の違いおよび起泡材の条件が流動性に与える影響を定量的に調査するための試験を行なった．4号から8号までの粒径の異なる5種類の硅砂，シルト（トチクレー），粘土（笠岡粘土）を実験室で配合して試料土を4つ作成した．各種硅砂のみを混合した試料（以下，試料S），各種硅砂にシルト20%を混合した試料（以下，試料T20），各種硅砂に粘土を20%混合した試料（以下，試料K20）および粘土の混合割合を40%に増加させた試料（以下，試料K40）である．それぞれの性状は表-1，粒度分布は図-1に示す．先の3つの試料を比較することで，土質の違いが気泡混合土の流動性に与える影響を，後の2つを比較することで，細粒分含有率が与える影響を調べた．起泡剤濃度は使用したアニオン活性剤を主成分とする起泡剤の希釈割合，発泡倍率

は気泡の質量に対する体積の比，注入量は試料土の体積に対する気泡体積の比と定義し，これらを変化させることで，気泡条件の違いによる影響についても評価した．それぞれの定義式は以下の式(1)-(3)に示す．試験ケースは，濃度は0, 0.4, 1, 2, 3%，発泡倍率は4, 6, 8倍，注入率は20%で行った．

$$\text{起泡剤濃度}(\%) = \text{起泡剤量}(\text{g}) / (\text{起泡剤量}(\text{g}) + \text{水量}(\text{g})) \quad \cdots(1)$$

$$\text{発泡倍率}(\text{倍}) = \text{気泡体積}(\text{ml}) / \text{気泡質量}(\text{g}) \quad \cdots(2)$$

$$\text{注入率}(\%) = \text{試料土体積}(\text{cm}^3) / \text{気泡体積}(\text{cm}^3) \quad \cdots(3)$$

表-1 試料土の性状

	試料 S	試料 T20	試料 K20	試料 K40
土粒子密度 (g/cm ³)	2.65	2.66	2.52	2.66
加水量 (%)	15	15	15	20
土質区分	細粒分 まじり砂	細粒分質 砂	細粒分質 砂	細粒分質 砂
液性限界 (%)	NP	NP	35.1	25.4
塑性限界 (%)	NP	NP	12.4	9.3

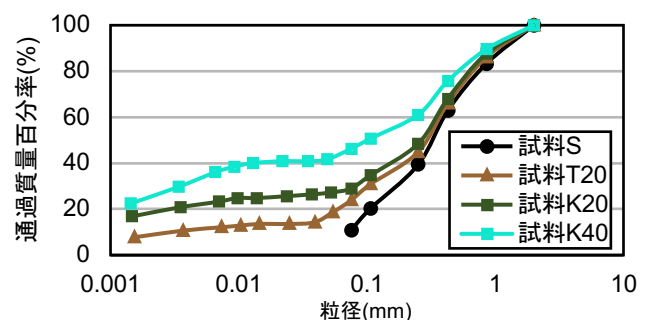


図-1 粒度分布

2.2 試験方法 試料は乾燥した土粒子に加水を行い，A-a法で行った締め固め試験において最大締め固め状態で飽和となる含水比（ $w=15\%$ ）とした．試料K40に関してはさらに5%の加水を行った．土試料と発泡装置で発生させた気泡を小型ソイルミキサーで混ぜ合わせて気泡混合土を作成した．流動性の指標にはテーブルフロー（以下TF）値を用いた．TF値は大き

いほど流動性が高いことを示す。シールドマシンのチャンバー内の土が完全に入れ替わるのに一定時間を要することから、時間経過後の流動性についても調べるために、3 時間後の TF 値も測定した。

3. 試験結果とその考察

各土試料 8 倍発泡での起泡剤添加率と気泡混合直後および 3 時間後の TF 値との関係を図-2 および図-3 に示す。ここで起泡剤添加率は式(4)で定義した。

$$\text{起泡剤添加率}(\%) = \frac{\text{起泡剤量}(g)}{\text{試料土の乾燥質量}(g)} \times 100 \quad \dots \text{式(4)}$$

図-2, 3 より、試料 S、試料 T20 では起泡剤添加率が増加すると、TF 値が急激に増加することが分かる。一方、試料 K20、試料 K40 では起泡剤添加率が増加しても TF 値はほとんど変化せず、またこの傾向は特に試料 K40 で顕著である。試料 S および試料 K20 の各発泡倍率における起泡剤添加率と気泡混合直後および 3 時間後の TF 値との関係を図-4 および図-5 に示す。図-4, 5 より、試料 S では発泡倍率の違いによる TF 値の変化は小さいが、試料 K20 では発泡倍率によって TF 値は大きく変わる。これらは砂と粘土のせん断応力の発揮機構の違いにあると考えられ、砂では主に内部摩擦角がせん断強度に影響を及ぼすため、気泡によるベアリング効果の影響が大きい、粘土では粘着力の影響が大きい、流動性は含水比によって大きく変化した。また、試料 K40 では液性限界が高いことから含水比が流動性に大きく寄与していることが推測できる。これより、掘削土砂の含水比および起泡剤の使用コストの低減を考慮すると、砂を多く含む土では、低濃度・低発泡倍率で、粘土を多く含む液性限界の高い土では、高濃度・高発泡倍率で施工を行うことが望ましい。

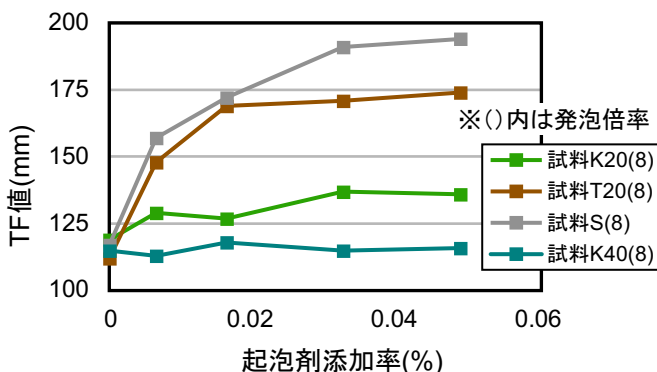


図-2 起泡剤添加率と混合直後 TF 値(8 倍発泡)

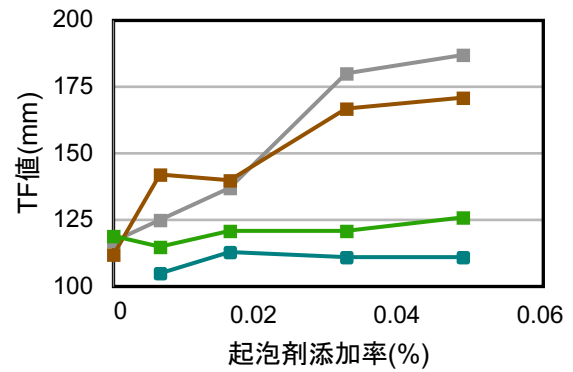


図-3 起泡剤添加率と 3 時間後 TF 値(8 倍発泡)

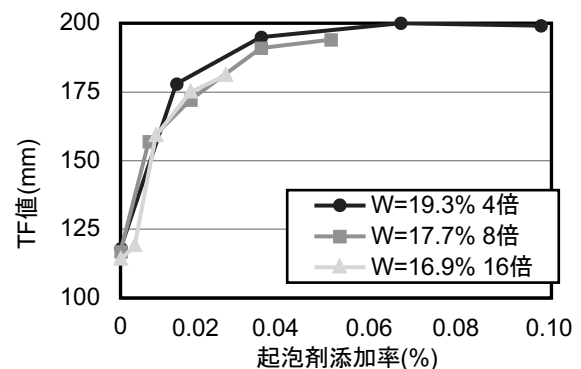


図-4 起泡剤添加率と混合直後 TF 値(試料 S)

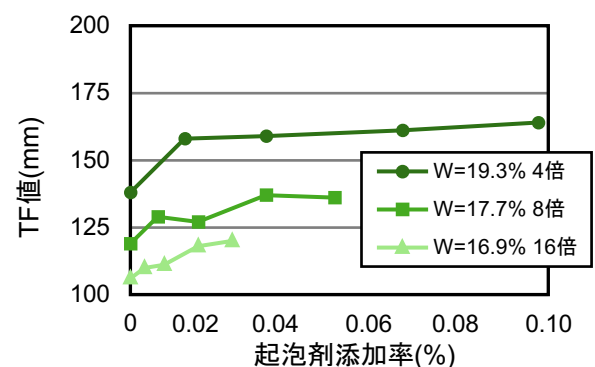


図-5 起泡剤添加率と混合直後 TF 値(試料 K20)

4. まとめ

気泡シールド工法は粘性土よりも砂質土において適用性が高いといえ、土の性質ごとに適切な濃度・発泡倍率で施工を行うことが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) シールド工法技術協会 (2011): 気泡シールド技術資料。
- 2) 近藤ら (2008): 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 C, 64(3), 505-518.
- 3) 三浦ら (2019): 新しい気泡シールド工事用起泡剤で製作した気泡混合土の流動性に関する調査, 第 74 回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, No. VI-806.