

土質特性がシールド工法に適用される気泡混合土の流動性に及ぼす影響

大阪大学 学生員 三池瑠衣

大林組 正会員 木村志照・三浦俊彦

大阪大学 正会員 緒方 奨・乾 徹

1. はじめに

気泡シールド工法は、起泡剤を用いて作成した気泡をチャンバー内に加えることにより、掘削土砂を塑性流動化させ、それを加圧して切羽を安定させて掘進する工法である¹⁾。気泡混合土は、気泡が消泡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という利点が挙げられる。一方、掘進中には流動性が確保されることが望ましい。加水量や起泡剤の種類、濃度、発泡倍率、注入量が気泡混合土の流動性に及ぼす影響について検討が進められているが²⁾、掘削土砂に気泡と水を添加した地盤掘削用安定液を対象とした検討においては、掘削土砂の粒度、液性限界、細粒分含有率が安定液の流動性に影響を及ぼすことが示されている³⁾。本報では、粒度や細粒分含有率等が異なる4種類の試料土から作成した気泡混合土の流動性と比重の時間変化を計測し、掘削土砂の土質特性が気泡混合土の流動性とその時間変化に及ぼす影響を評価した。

2. 試験方法

2.1 使用材料 粒径の異なる珪砂、シルト（トチクレー）、高塑性粘土（笠岡粘土）を配合して4種類の試料土を作成した。4、5、6、7、8号珪砂を乾燥質量比2:1:1:1:2で混合した砂試料（以下、試料S）、混合珪砂にシルト20%を混合した試料（以下、試料T20）、同じく粘土を20%および40%混合した試料（以下、試料K20、K40）である。試料土の材料特性と土質区分を表-1、粒度分布を図-1にそれぞれ示す。起泡剤はレオフォームOL-10[®]を水道水で希釈して使用した。起泡剤濃度（希釈した起泡剤溶液中の起泡剤濃度）を0、0.4、1、2、3%、気泡質量に対する体積の比で定義される発泡倍率を4、6、8倍、試料土の体積に対する気泡体積の比で定義される注入率は一律20%として実験を実施した。

2.2 試験方法 試料土に表-1に示す量の水道水を加水した。加水量は、A-a法で行った各試料土の締固め試験において決定される最大乾燥密度状態で飽和した時の含水比とほぼ同一の15%とした。ただし、試料K40に関しては15%では十分な流動性が得られなかったため、20%の加水量とした。高塑性粘土を含むK20とK40は加水後、3日間に渡り密閉養生した。湿潤状態の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。流動性の測定にはJIS R 5201に基づくテーブルフロー（以下TF）値を用いた。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。また、土との混合や時間経過によって、気泡は発泡、消泡すると考えられるため、気泡混合土の比重を混合直後、3時間後に測定した。

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。なお、横軸の起泡剤添加率は、気泡混合土中の土の乾燥質量に対する添加された起泡剤質量の比率である。

図-2、3より、試料S、試料T20では起泡剤添加率が0.02%まで増加するとTF値が急激に増加し、それ以降

表-1 試料土の物性値と土質区分

試料土	S	T20	K20	K40
配合	混合珪砂	珪砂+シルト20%	珪砂+粘土20%	珪砂+粘土40%
土粒子密度 (g/cm ³)	2.645	2.664	2.652	2.660
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	25.4	35.1
塑性限界 (%)	NP	NP	9.3	12.4

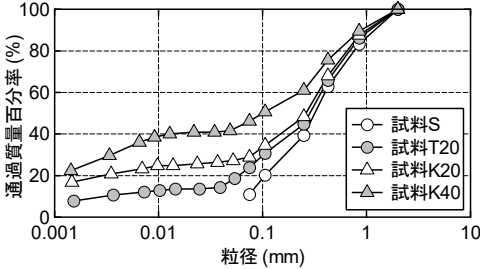


図-1 試料土の粒度分布

は流動性の上昇幅は小さくなる。一方、高塑性粘土を含む試料 K20, K40 では起泡剤添加率を増加しても TF 値はほとんど変化せず、特に試料 K40 でこの傾向は顕著である。試料 S および K20 の各発泡倍率における起泡剤添加率と混合直後の TF 値の関係を図-4, 図-5 に示す。試料 S では TF 値は起泡剤添加率に依存して、発泡倍率の影響は小さい。一方、試料 K20 では発泡倍率が低い、すなわち起泡剤溶液量が大きい場合に TF 値が上昇する。これ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、砂では主に粒子間の摩擦力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ため、流動性は加水量と起泡剤溶液量の和で算出される含水比 w に依存する。また、発泡倍率が高い場合には、起泡剤添加率の増加によって徐々に TF 値が増加する傾向が確認された。

気泡混合土の比重と TF 値の関係を図-6 に示す。図-6 には試料毎に混合直後と 3 時間経過後の双方の値をプロットしている。気泡混合土の比重の増加に伴い、TF 値が線形的に低下することが確認される。気泡混合土の比重は、土と気泡の混合中の気泡体積の増加、時間経過に伴う気泡体積の減少によって変動するが、砂の方が気泡体積が大きく、低比重となる一方で、比重の変化に伴う TF 値への影響が比較的大きい。一方、高塑性の粘土を含む K20 や K40 においては、比重が大きく気泡体積が減少傾向にあり、流動性の維持が難しいことを示唆している。理由としては、粘土分が気泡外側の水分を吸収し、気泡体積が減少することが考えられる。図-7 に起泡剤添加率と発泡倍率 8 倍で作成した気泡混合土の 3 時間経過後の比重の関係を示す。K40 を除いて、起泡剤添加率の増加に伴い、3 時間経過後の比重が低い値を示す。これは、起泡剤濃度を高くすると気泡の安定性が改善され、気泡体積が変動しにくいことを反映している。砂試料 S においては、比較的低い添加率でも時間経過後も低い比重を示している。シルト混じりの試料 T20 においても、起泡剤添加率を上昇させると比較的低い比重を維持できる。一方、粘土混じりの K20 においては、起泡剤濃度を高くしても比重の低下効果は小さい。

4. おわりに

気泡混合土は、粘土分が少ない土質において、安定的に流動性を保つことができる。TF 値と起泡剤濃度・添加率との関係や比重の変動を考慮すると、砂質系の土では、低濃度・高発泡倍率で、粘土分を含む液性限界の高い土では、高濃度・低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) 三浦ら (2019): 新しい気泡シールド工事に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。
- 3) 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。

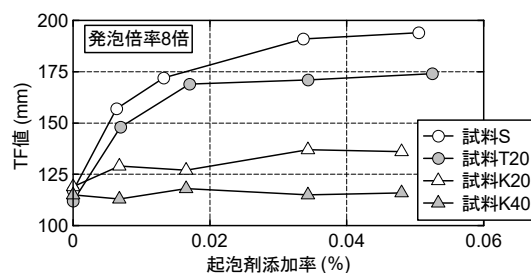


図-2 起泡剤添加率と混合直後の TF 値 (8 倍発泡)

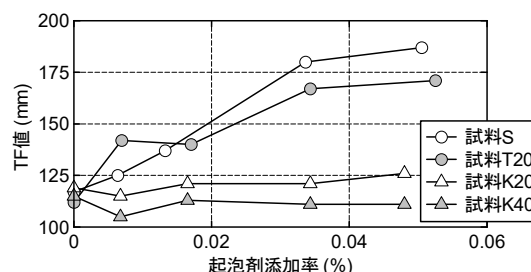


図-3 起泡剤添加率と 3 時間後の TF 値 (8 倍発泡)

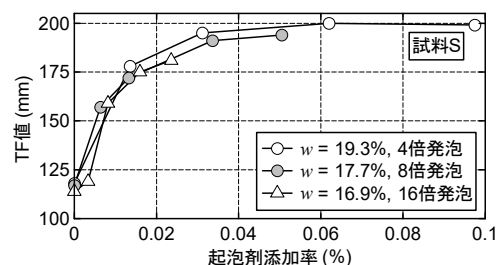


図-4 起泡剤添加率と混合直後の TF 値 (S)

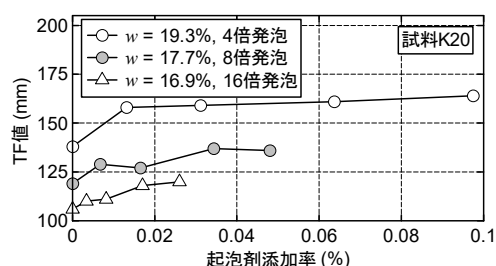


図-5 起泡剤添加率と混合直後の TF 値 (K20)

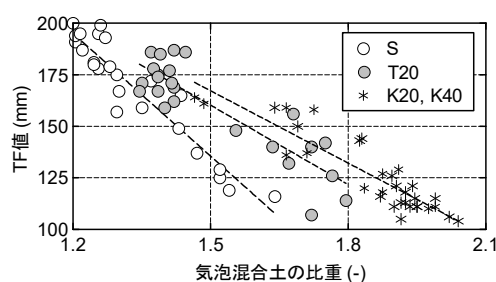


図-6 気泡混合土の比重と TF 値

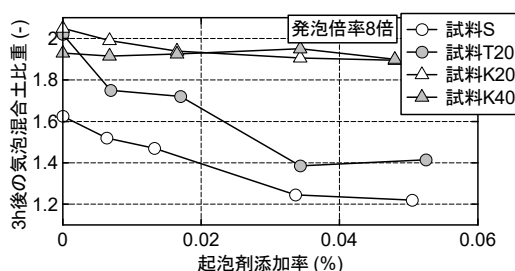


図-7 起泡剤添加率と 3 時間後の比重 (8 倍発泡)