

新しい気泡シールド工事用起泡剤で作成した気泡混合土の流動性に関する調査

(株)大林組 正会員 ○三浦 俊彦、木村 志照、武田 厚
大阪大学 正会員 乾 徹

1. はじめに

気泡シールド工事は、起泡剤で作成した気泡を掘削面等に加えながら、掘削土砂を攪拌混合して塑性流動化させ、それを加圧して切羽を安定させて掘進する工法である。気泡混合土は、チャンバー内の塑性流動性確保を目的として、スランプで 5～15cm を基準として作られるが、実際には現場の排出・運搬方式等ごとに調整されている。気泡混合土の流動性には、加水量や起泡剤の種類、濃度、発泡倍率、注入量が影響しており、現場でこれらの条件を調整して使用するが、これらの要因がどの程度流動性に寄与しているのか、定量的に調べた例は少ない。そこで本報では、起泡力や生成した気泡が強い性質を持つ弊社開発品のレオフォーム OL-10 を使用して、上記要因と流動性の関係性を考察することを目的として試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 試験方法

試料土は、現場から採取した粘性土と砂質土を、9.5mm 以下に調整して使用した。表 1 に試料土の性状を示す。表 2 に試験ケースを示す。試験は起泡溶液のみで発泡させるケース（A タイプ）と、気泡と増粘材（カルボキシルメチルセルロース）の混合溶液を発泡させるケース（B タイプ）を実施した。試料土に所定量の水を添加して、ホバートミキサーで 3 分間混合した。起泡剤は、従来の起泡剤（K）とレオフォーム（L）の 2 種類とした。A タイプのケースでは、起泡剤の濃度と発泡倍率を変えて発泡装置で気泡を作成し、粘性土は 40%，砂質土は 20% を試料土に添加・混合した。B タイプのケースでは、増粘材の濃度は 1.2%一定とし¹⁾、起泡剤の濃度を変えて気泡を作成した。発泡倍率は 6 倍、注入率は粘性土で 40%，砂質土で 20% とした。作成した気泡混合土は、混合直後と 3 時間後の湿潤密度、スランプ、テーブルフローを測定した。

3. 結果

図 1 にテーブルフローとスランプ値の関係を示す。試料土によって差があるが、両者には正の相関性があつた。したがって、以降の流動性評価はスランプ値の結果で記載する。

図 2 に、気泡混合直後と 3 時間後における、起泡剤濃度とスランプ値の関係を示す。いずれのケースにおいても、スランプ値は、起泡剤濃度が大きいほど、発泡倍率が小さいほど大きい値を示した。これは、気泡混合土に含まれる起泡剤の量が増加することで、流動性が大きくなることを示している。また、加水量が大きいほどスランプ値は大きくなる傾向にあった。とくに、粘性土でかつ発泡倍率が 8 倍以上のケースにおいて、その傾向は顕著であつた。一方で、砂質土においては加水量がスランプ値に与える影響は小さかった。これは、粘

表 1 試料土の性状

項目		単位	砂混じり粘性土	砂質土
含水比		%	14.3	24.2
土粒子密度		g/cm ³	2.644	2.701
粒度	礫 2～9.5mm	%	29.5	1.1
	砂 0.075～2mm	%	15.9	87.5
	シルト 0.005～0.075mm	%	33.7	9.6
	粘土 0.005mm 以下	%	20.9	1.8

表 2 試験ケース

試料土	加水量 (%)	起泡剤			生成気泡	
		気泡タイプ	種類	濃度 (%)	発泡倍率	添加率 (%)
粘性土	6, 10	A	K	1, 3	8	40
			L	0.4, 1, 2, 3	4, 8, 16	
		B	K	3	6	
			L	0.4, 1, 2, 3	6	
砂質土	5, 8	A	K	1, 3	8	20
			L	0.4, 1, 2, 3	4, 8, 16	
		B	K	3	6	
			L	0.4, 1, 2, 3	6	

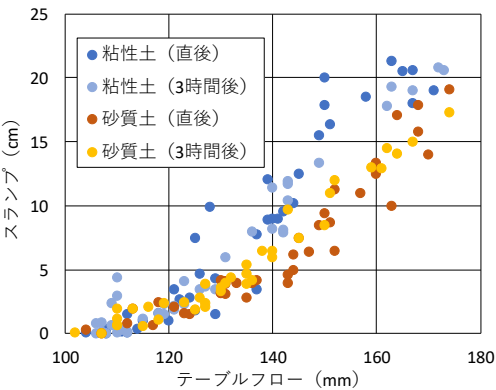


図 1 テーブルフローとスランプの関係

キーワード シールドトンネル、起泡剤、塑性流動性

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所 自然環境技術研究部 TEL 042-495-1014

性土では、気泡剤成分の一部が粘土へ吸着したり、吸水等により流動性が低下した可能性が考えられる。実際に粘土を対象に掘削の際には、気泡だけではなく適度な加水が必要であることがわかった。

レオフォーム L と従来剤 K を比較すると、同じ 8 倍発泡の条件において、レオフォームのスランプ値が大きい結果となった。従来剤の 3% 濃度とレオフォーム 0.4% の流動性がほぼ同じであり、レオフォームを用いることで、起泡剤の使用量を大きく低減することが可能であると考えられた。

気泡添加直後と 3 時間後のスランプ値を比較すると、3 時間後のスランプ値の方が小さく、流動性が低減した。現場のシールド工事において、チャンバー内で気泡混合土が作成されてから排出されるまでの時間を考えると、3 時間程度は流動性を維持することが望ましい。本結果からは、時間とともに流動性は低減するため、適切に加水を実施し、適度な起泡剤の濃度と発泡倍率の設定が必要であることがわかった。増粘剤を併用する B タイプは、従来剤はスランプ値が小さいのに対し、レオフォームは同条件で高い流動性を示した。適切な加水をすることで、従来剤でも使用できると思われるが、レオフォームは流動性の調整がしやすいと考えられる。

図 3 に、気泡混合土の湿潤密度とスランプ値の関係を示す。粘性土と砂質土ともに、湿潤密度とスランプ値には負の相関があった。これは、気泡が多く存在すると湿潤密度が小さくなるためである。湿潤密度が小さい方が、カッタートルクを低減し、掘削がしやすい。気泡シールド工事は、流動性の増加と湿潤密度の低減の両効果を持つ有効な工法であることを示している。

4. おわりに

現場で適切な流動性を得るためには、加水量や起泡剤の種類や濃度、発泡倍率、注入率等を調整して、気泡混合土に存在する気泡量を調整し、流動性を確保することが必要である。起泡力が高く、作成した泡が強いレオフォームは、気泡量の調整が可能で、多くのケースに対応できる。また、増粘剤と併用しても、従来剤よりも使用しやすい事を確認できた。参考文献 1)：気泡シールド技術資料，シールド工法技術協会，2011。

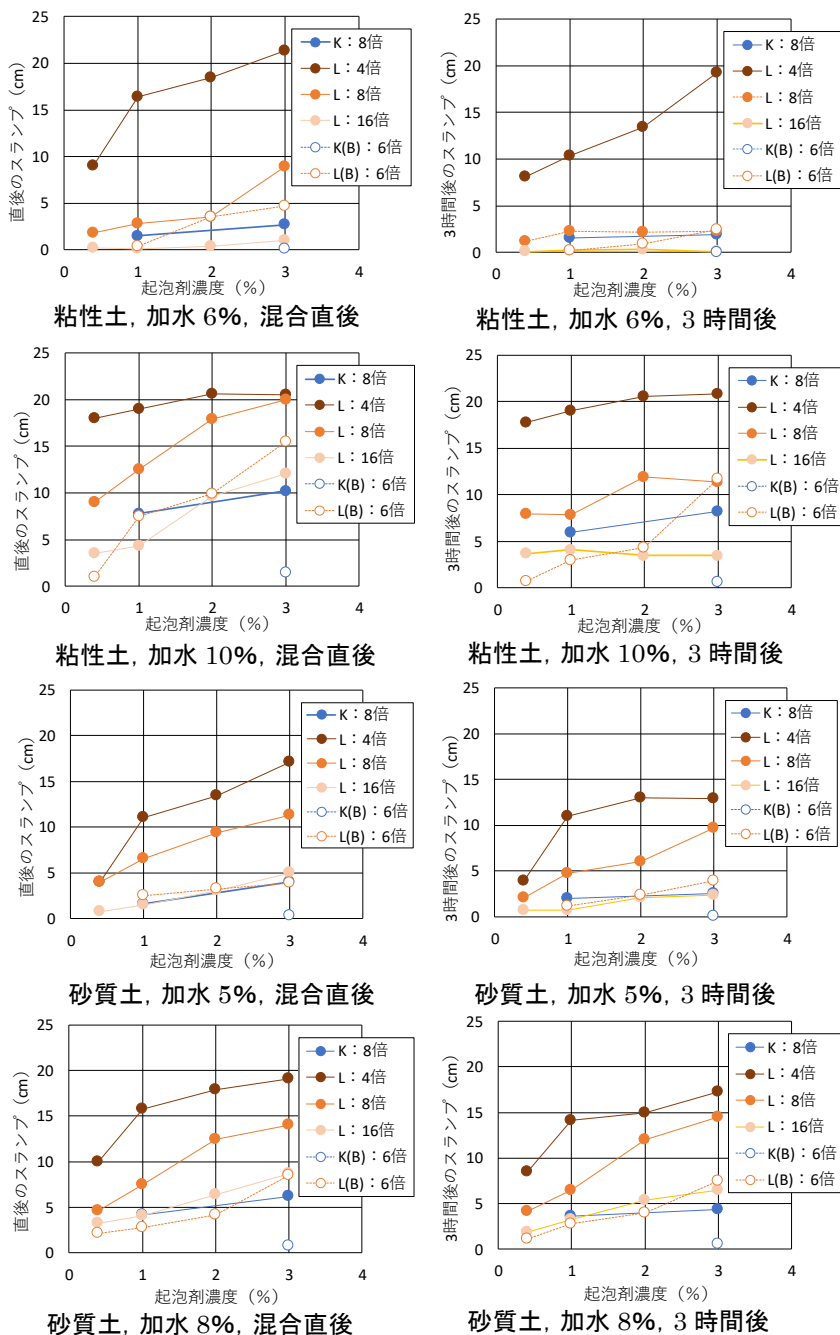


図 2 気泡混合土のスランプ値の測定結果

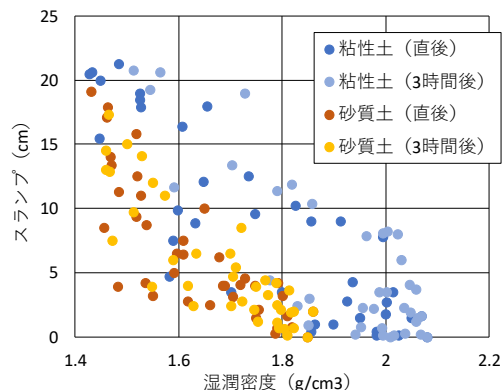


図 3 気泡混合土の湿潤密度とスランプ値の関係