

## 気泡混合土の圧送性に関する評価手法の検討

(株) 大林組 正会員 ○三浦 俊彦、森 理人、木村 志照、武田 厚  
(株) 立花マテリアル 瀬戸口祐人

### 1. はじめに

気泡シールド工事は、カッター面またはチャンバーに界面活性剤で作成した気泡を注入し、掘削した土砂と気泡を混合することで、塑性流動状態にして土圧を保持しながら掘削する工法である。チャンバー内の気泡混合土は、一般にスクリーコンベア等で排出された後、ベルトコンベアで運搬されることが多い。一方で、流動性の高い状態であることから、噴発が懸念される場合や、現場が狭い場合には、ノンタックホース等を経由して排出される場合もある。ノンタックホースで圧縮空気を利用して気泡混合土を圧送する場合、加圧下で流動性が低下する懸念や、気泡と水が土砂から分離して、圧送が難しくなることが予想されるケースがある。それは現場の圧送時の圧力や距離、土質や気泡の添加条件によるものと思われるが、一定の判断基準がないことが課題となる。現状においては、経験的な判断や実規模の検証試験を実施しているが、本報では室内の加圧試験等により一定の評価ができないか考察した。

### 2. 試験方法

**2. 1 試料土** 試料土の粒度分布を図1に示す。現場掘削土の粒度分布等の土質試験結果を参考にして、細粒分の小さい砂質土と粘性土を対象とした。砂質土の含水比は12%、粘性土の含水比は24%に調整し、試料土とした。

**2. 2 試験ケースと方法** 表1に試験ケースを示す。添加材は、今回の調査対象となる気泡単体のAタイプ気泡だけでなく、カルボキシメチルセルロース(CMC)と併用したBタイプ気泡や加泥材とAタイプ気泡を併用したケース、加泥材単独についても、比較のため試験に用いた。Aタイプ気泡は、弊社とライオン・スペシャリティ・ケミカルズが開発したレオフォーム OL-10の1%濃度を8倍発泡させたものを使用し、Bタイプ気泡は、同じ溶液にCMC1.2%を添加して6倍発泡させた気泡を添加した。加泥材にはベントナイト(Bt)3%溶液を使用し、そこにCMC1.2%溶液を添加して、粘性を高めた加泥材も使用した。試料土に各添加材をミニスランプが8~9cmとなるように添加し、ミニスランプとテーブルフローで流動性を確認した。その後、コンクリートの加圧ブリーディング試験<sup>1)</sup>で用いる加圧装置(図2)にセットし、現場における土砂圧送時の0.5Mpaを加圧した。ノンタックホースでの圧送時間を3分程度と考えて、3分間加圧する間の脱水量を経時的に測定した。加圧後に試料土を取り出して、流動性を確認した。

### 3. 試験結果

図3と図4に、それぞれ砂質土と粘性土の加圧脱水試験の結果を示す。なお、図の縦軸は、気泡と加泥材添加後の全含水量に対しての脱水率を示す。表2に、加圧脱水試験前後の試料土のミニスランプ(MS)とテーブルフローを示す。

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 環境技術研究部 TEL042-495-1014

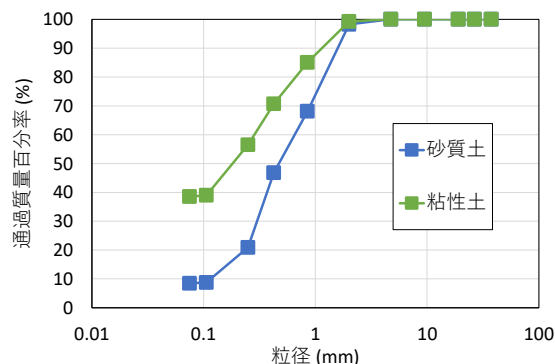


図1 試料土の粒度分布

表1 試験ケース (砂質土と粘性土)

No.	添加剤の種類	気泡				加泥材		
		種類	濃度 (%)	発泡倍率	添加量 (%)	種類	濃度 (%)	添加量 (%)
1	Aタイプ気泡	OL-10	1	8	20	—	—	—
2	Bタイプ気泡(CMC)	OL-10 CMC	1 1.2	6	20	—	—	—
3	A加泥(Bt)	OL-10	1	8	20	Bt	3	5
4	A加泥(Bt+CMC)	OL-10	1	8	20	Bt CMC	3 1.2	5
5	加泥(Bt)	—	—	—	—	Bt	3	20
6	加泥(Bt+CMC)	—	—	—	—	Bt CMC	3 1.2	20

ブルフロー (TF) の結果を示す。

砂質土における加圧時の脱水率は、B タイプ気泡 (CMC) と A 加泥 (Bt+CMC) で大きく、3 分後で約 45% であった。A タイプ気泡、A 加泥 (Bt) そして加泥 (Bt) は、3 分後の脱水率が 15~25%、加泥 (Bt+CMC) は、ほとんど脱水しなかった。加圧前は流動性が高い状態であったが、加圧後の流動性はいずれのケースも低下し、脱水率が大きかった B タイプ気泡 (CMC) と A 加泥 (Bt+CMC) は、流動性がない状態となった。加泥 (Bt) も流動性が大きく低下し、A タイプ気泡と A 加泥 (Bt) は少し流動性が低下し、加泥 (Bt+CMC) は、加圧前後で流動性に差がなかった。

粘性土における加圧時の脱水率は、砂質土と同様に B タイプ気泡 (CMC) と A 加泥 (Bt+CMC) で大きかった。加圧後の流動性も大きく低下しており、圧送には適さないと判断された。他のケースは脱水率が小さく、加圧前後の流動性に大きな差がなかった。粘性土は砂質土に比べて、水の保水性が大きく、含水状態が流動性に大きく影響することから<sup>2)</sup>、加圧脱水の影響が小さかったと考えられる。

以上のことから、最も圧送に適しているのは加泥 (Bt+CMC) であり、A タイプ気泡と A 加泥 (Bt) も、加圧後の流動性は維持していることから、圧送しても問題ないと考えられた。特に粘性土では、流動性の低下傾向は小さく、圧送の影響は小さいと判断できた。ただし、本試験では加圧下の流動性が評価できておらず、気泡は圧縮による流動性低下の可能性があるため、確認が必要と考えられた。いずれの試料土ともに、CMC と気泡を併用したケースでは、加圧脱水による流動性低下が大きかった。CMC の併用で粘性を付加し、気泡混合土をまとめる効果は見られたが、圧送時には細粒分の凝集が促進され、気泡の消失を進めた可能性が考えられる。一方で、CMC を使用しても気泡を伴わない加泥 (Bt+CMC) は、流動性が加圧前後で維持されており、これは杭や連壁で使用される安定液のように、泥膜形成による材料分離抵抗が作用した結果と思われる。

**4. おわりに** 加圧脱水試験を利用して、シールド工事で使用する気泡や加泥材混合土の圧送性の評価を試みた。今後は現場の状況を調べて、本評価方法の妥当性について検討を進めていく予定である。

**参考文献** 1) 土木学会コンクリート施工研究小委員会：コンクリートのポンプ施工指針、2012. 2) 三池瑠衣他：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、第 75 回年次学術講演会講演概要集，土木学会，2020.

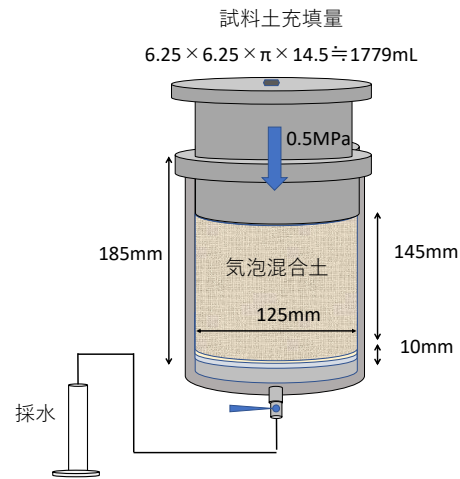


図2 加圧試験装置

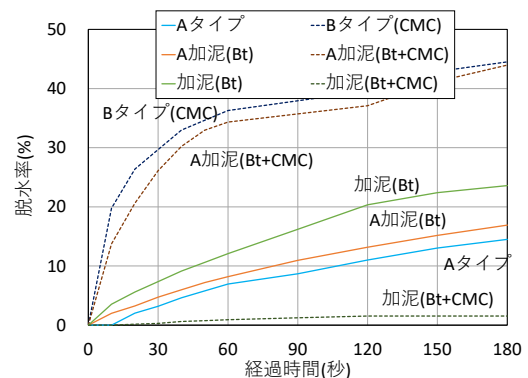


図3 加圧脱水試験の結果（砂質土）

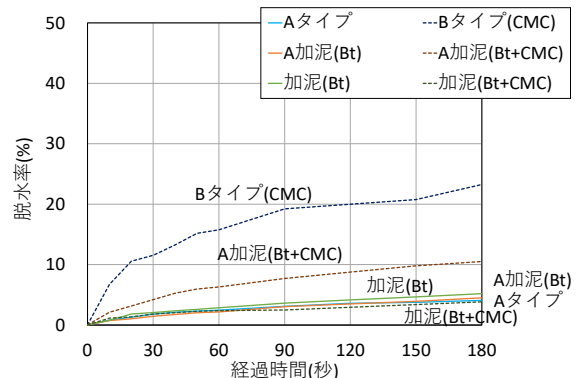


図4 加圧脱水試験の結果（粘性土）

表2 加圧脱水前後の流動性試験の結果

試料土	No.	種類	加圧脱水前		加圧脱水後	
			MS (cm)	TF (mm)	MS (cm)	TF (mm)
砂質土	1	A タイプ気泡	8.1	179	3.1	152
	2	B タイプ(CMC)	7.7	165	0	崩壊
	3	A 加泥(Bt)	8.8	187	4.8	157
	4	A 加泥(Bt+CMC)	8.3	171	0	100
	5	加泥(Bt)	8.6	185	1.1	115
	6	加泥(Bt+CMC)	8.5	148	8.0	148
粘性土	1	A タイプ気泡	8.0	178	6.6	167
	2	B タイプ(CMC)	6.8	152	0	107
	3	A 加泥(Bt)	8.6	182	7.9	170
	4	A 加泥(Bt+CMC)	8.3	169	1.4	134
	5	加泥(Bt)	8.4	176	7.0	161
	6	加泥(Bt+CMC)	8.4	150	5.3	142