

気泡を利用した地盤掘削，改良技術の開発

消泡率 空気間隙率 一軸圧縮強度

早稲田大学 学生会員 ○内山 史基  
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一  
 早稲田大学 学生会員 石川 秀一

1. 研究目的

深層地盤改良工法の一つである DJM 工法では軟弱地盤中に粉粒体の改良材を供給する事によって地盤を安定させて盛土のすべり破壊や地中埋設物の沈下を防いでいる。著者らは、粉粒体の改良材と地盤との混合性能向上を目的として、改良材添加前に地盤中に気泡を注入することとした。気泡は、改良材添加時に消泡剤により消泡した。本研究では、気泡添加による流動性向上、強度発現効果および消泡性能について確認し、実施工への適用性を検討した。

2. 使用材料および試験方法

2.1 使用材料

本研究では表 2.1 に基づいた 6 ケースの混合土を使用する。

表 2.1 粉体混合検討 室内配合試験ケース案

土質	ケース	含水比 (%)	気泡添加率 (%)	セメント添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	消泡剤添加率 (%)
粘性土	I	21	0	200	0
	II	21	1.0	200	0
	III	21	1.0	200	0.0062
砂質土	IV	21	0	200	0
	V	21	0.5	200	0
	VI	21	0.5	200	0.0031

備考 1：粘性土の重量比（珪砂 5 号：珪砂 7 号：木節粘土＝2：3：5）  
 砂質土の重量比（珪砂 5 号：珪砂 7 号：木節粘土＝5：4：1）

また、気泡安定液の作成の際には、いずれも起泡剤原液を 20 倍に希釈し、これをさらに 25 倍の体積になるようにハンドミキサーで泡立てた気泡を使用。消泡剤は粉体のアデカネート B - 111F を使用した。

2.2 試験手順

①所定の混合土または気泡混合土を作製後、初期性状の確認として、単位体積重量・テーブルフロー値・ベーンセン断抵抗値の測定を行う。

②気泡混合土に単位体積重量が 200 kg/m<sup>3</sup> のセメント系固化剤とケース III と VI では消泡剤も加えて添加し、ホバートミキサーで 1 分間攪拌する<sup>1)</sup>。なお、セメント系固化剤は、3 回に分けて、20 秒毎にミキサーに投入した。

③空の状態の小型モールド(φ5cm×10cm)の質量を測定後、ホバートミキサー内のセメント改良土を小型モールドに移し、セメント改良土の単位体積重量・テーブルフロー値・ベーンセン断抵抗値の測定を行う。

④小型モールドにセメント改良土を詰め、一軸圧縮強度  $\sigma_7$  (kN/m<sup>2</sup>) を計測する。

⑤消泡率を下記の式で算出する。

$$\text{消泡} = \frac{\text{気泡混合土 1 l あたりの空気量} - \text{セメント改良土 1 l あたりの空気量}}{\text{気泡混合土 1 l あたりの空気量}}$$

⑥空気間隙率を下記の式で算出する。

$$\text{空気間隙率} = \frac{V_a}{V_a + V_w} \quad V_a : \text{空気の体積 (cm}^3\text{)} \quad V_w : \text{水の体積 (cm}^3\text{)}$$

1) ホバートミキサーで攪拌する時間が長いほど、セメント改良土の余剰空気量が多くなるので、攪拌時間を 1 分とした。

### 3. 試験結果及び考察

表 3.1 粘性土における試験結果

	ケース	気泡混合土			改良体							
		湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ペーンせん断 (kN/m <sup>2</sup> )	テーブルフロー (mm)	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ペーンせん断 (kN/m <sup>2</sup> )	テーブルフロー (mm)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (kN/m <sup>2</sup> )			消泡率 (%)	空気 間隙率(%)
w=21%	I	2.01	1.71	145	2.03	-	-	2775.7	3610.9	2812.8	-	-
w=21%	II	1.38	0.34	155	1.82	2.66	-	2342.8	2719.6	-	56.5%	33.5%
w=21%	III	1.35	0.34	155	1.83	3.21	-	<b>2281.6</b>	3251.3	<b>1904.8</b>	60.2%	32.1%

表 3.2 砂質土における試験結果

	ケース	気泡混合土			改良体							
		湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ペーンせん断 (kN/m <sup>2</sup> )	テーブルフロー (mm)	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ペーンせん断 (kN/m <sup>2</sup> )	テーブルフロー (mm)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (kN/m <sup>2</sup> )			消泡率 (%)	空気 間隙率(%)
w=15%	IV	1.94	2.39	-	1.96	-	-	2383.5	1874.2	-	-	-
w=15%	V	1.59	0.68	159	1.68	0.72	154	3702.6	3442.8	3076.1	8.9%	55.2%
w=15%	VI	1.58	0.68	159	1.70	2.42	-	<b>1171.4</b>	<b>2403.9</b>	<b>2653.4</b>	13.3%	54.1%

※太字で示した一軸圧縮強度の数値は、供試体の一部が欠けていたため、本来より低く出てしまったと考えられる表 3.1、表 3.2 の結果を元にグラフを作成した。

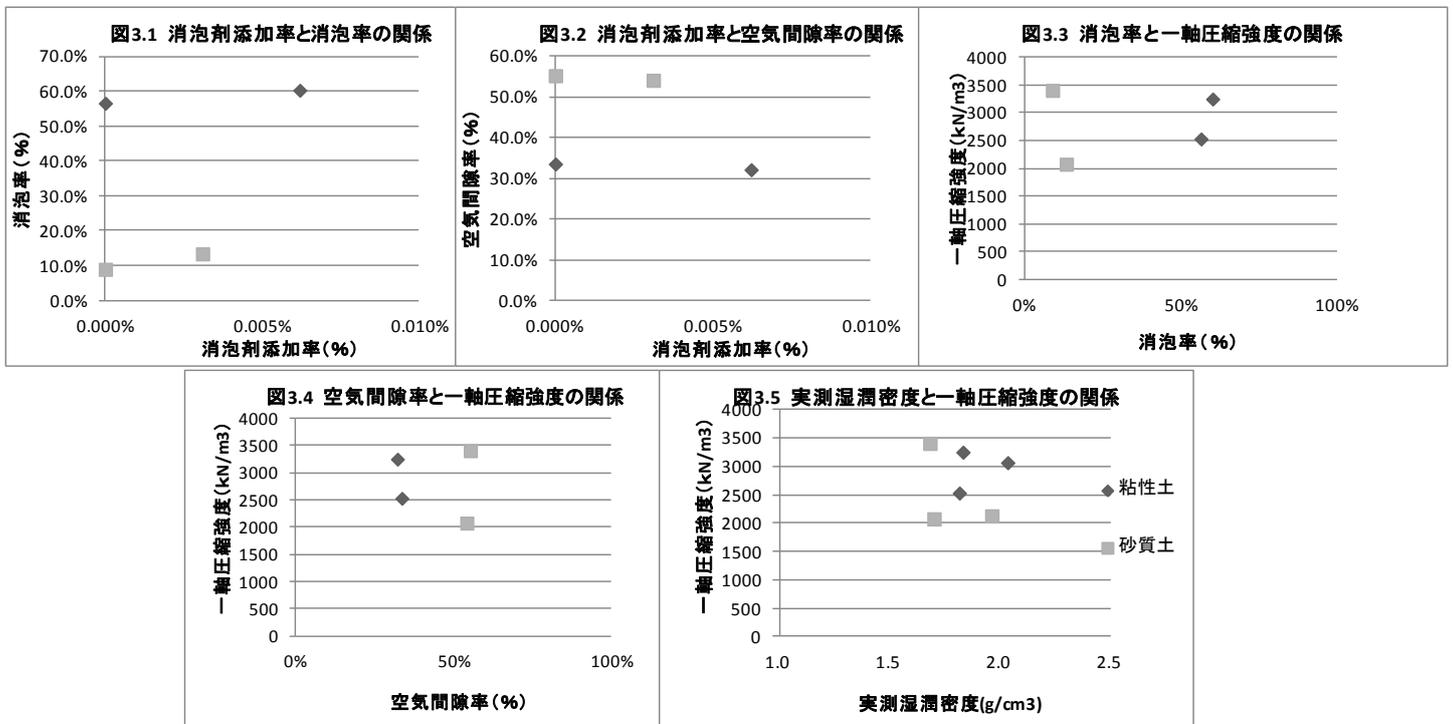


図 3.1 ではどちらの土も消泡剤を添加することによって消泡率は増加している事が分かる。  
 図 3.2 では消泡剤を添加することによって微量ではあるが、空気間隙率が減少しているのが分かる。  
 一軸圧縮強度は、粘性土のケースのように消泡率が大きくなるにつれて増加する傾向にあるが、図 3.3 より、砂質土のケースでは消泡率が大きくなるにつれて一軸圧縮強度は低下した。これは消泡剤を添加したケースのセメント改良土の供試体の一部が欠けていたため本来より低く出てしまったとが原因だと考えた。  
 図 3.4 より、空気間隙率と一軸圧縮強度に相関性は見られなかった。  
 図 3.5 より、湿潤密度と一軸圧縮強度に相関性は見られなかった。

### 4. 今後の課題

セメント改良土を小型モールドに入れる際に粘性土、砂質土共に三層に分けてタッピングしながら詰めていったが、脱型したときに空隙が多かったり、供試体の一部が欠けたりしたので、一軸圧縮強度を測定する事が困難になってしまった。これを防ぐために実験手順②の直前に気泡混合土に所定の水を加えてから行う事とする。それはセメント改良土にある程度流動性がなければ、施工性の面で問題が生じてしまうからである。