

## 気泡混合土の流動性に関する実験的研究

気泡混合土 流動性 テーブルフロー

早稲田大学

正会員○高野颯平

国際会員 赤木寛一

平田光彦

加藤麻衣

前田建設工業

正会員

安井利彰

### 1. はじめに

近年、シールドトンネル掘削に気泡シールド工法<sup>1)</sup>が適用されている。泥土圧シールド工法に分類され、チャンパー内の掘削地山に特殊起泡剤を発泡した気泡を添加する工法である。チャンパー内の気泡混合土が、塑性流動性と止水性を有することで、切羽の安定を保ちながら掘進する。そのためには、掘削地山、気泡および水の混合比率を適切に管理することが重要である。また、気泡を添加するメリットとして、排土後の消泡により後処理が容易という点<sup>2)</sup>もあげられる。

気泡混合土がチャンパー内に充満され、スクリーコンベアによる排土をスムーズに実施するためには、掘削土が塑性流動性を十分に維持することが必要である。

本稿では、気泡混合土の流動性に影響を及ぼす因子を調査するために実施したテーブルフロー（以下、TFと称す）試験<sup>3)</sup>結果と考察について報告する。

### 2. 実験方法

本研究では試料土として、気泡シールド工法技術資料<sup>1)</sup>中に示されている土質 a, b, c の粒径加積曲線を参考に木節粘土、珪砂、砂利を配合した模擬土質 a, b, c, ならびにそれぞれの均等係数を極端に小さくした模擬土質 aII, bII, cII, 極端に大きくした模擬土質 aIII, bIIIを用いた。それぞれの粒径加積曲線を図-1に示す。

ここでは飽和地盤を対象とし、試料土の含水比は、各試料について、相対密度 $D_r=100$ (%)時の飽和含水比を下限、 $D_r=0$ (%)時のそれを上限とした範囲内で適宜調整した。また、気泡は、気泡シールド工法技術資料<sup>1)</sup>に準じ、(1)式で定義される気泡添加率 $Q_v$ を、0~30%に設定した。

$$Q_v(\%) = \frac{\text{気泡体積}(\text{cm}^3)}{\text{土の体積}(\text{cm}^3)} \times 100 \quad (1)$$

なお、添加した気泡はすべて同一の特殊起泡剤を、20倍希釈、25倍発泡の条件で発泡させたものを使用した。実験条件を表-1に示す。

TF試験はJIS R 52013)に準じて行う。図-2のように、フローテーブル(直径300mm)の中央に置いたコーン(上端内径70mm, 下端内径100mm, 高さ60mm)に試料土を充填し、コーンを取り去った後、テーブルに15回の落下運動を与える。広がった試料土の径を最大方向とその直角方向とで測定し、平均値をTF値とする。

### 3. 実験結果および考察

実験結果として、含水比 $w$ とTF値の関係を図-3に示す。細粒分含有率 $P$ に着目し、 $P=0$ ,  $0 < P \leq 10$ ,

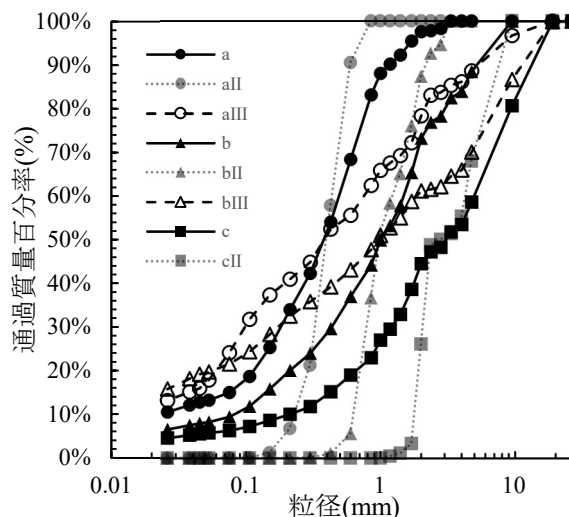


図-1 試料土の粒径加積曲線



図-2 テーブルフロー試験装置

$P > 10$  の3通りに場合分けをすることで、含水比とTF値に相関関係が確認できた。細粒分が含まれていない場合( $P=0$ )、加水の流動性への寄与は小さい。これは粒子間の摩擦を気泡のベアリング効果により低減し、流動性が向上すると考えられる。一方、細粒分が多くなると( $P > 0$ )、加水が流動性に寄与している。これは、細粒分が多くなると保水性が大きくなり、流動性を向上させるためには、気泡添加に加え加水が必要になると考えられる。水分が少ない場合は、添加した気泡が消泡するという報告がある<sup>4)</sup>。

Experimental Study on Flow Characteristics of Soil-foam Mixture

Sohei TAKANO, Hirokazu AKAGI, Mitsuhiro HIRATA, Mai KATO (WASEDA University) Toshiaki YASUI (MAEDA CORPORATION)

表-1 実験条件

土質種類	含水比 $w$ (%)	気泡添加率 $Q_v$ (%)
a	16.43, 19.85, 22.96, 26.07, 29.49, 34.16	0, 10, 20, 30
aII	10.00, 15.00, 21.67, 25.44	0, 10, 20, 30
aIII	15.01, 16.61, 19.18, 21.75, 25.92, 30.09	10
b	14.53, 17.17, 21.67	0, 10, 20, 30
bII	10.05, 14.71, 20.77, 24.03	10
bIII	15.71, 18.36, 20.62, 22.87	10
c	7.23, 12.13, 14.95, 19.85	0, 10, 20, 30
cII	20.98, 24.45, 28.36	10

上述の3通りの細粒分含有率について、目的変数をTF値、説明変数を比表面積  $S$ 、均等係数  $U_c$ 、含水比  $w$ 、気泡添加率  $Q$  とする重回帰分析を行い、土質および気泡添加の条件からTF値を推定する式を得た。なお、実験時には(1)式に示す体積比の気泡添加率  $Q_v$  を用いたが、気泡の消泡や圧縮特性を考慮し、変動のない質量比による気泡添加率  $Q$  ((2)式)を用いて分析を行ったことを断っておく。

$$Q(\%) = \frac{\text{気泡質量(g)}}{\text{土粒子質量(g)}} \times 100 \quad (2)$$

また、比表面積  $S$  は粗粒分の50%粒径  $D_{50}$  を基にした比表面積であり、(3)式で定義する。

$$S = \frac{50\% \text{粒径表面積}}{50\% \text{粒径質量}} = \frac{\pi D_{50}^2}{\rho_s \frac{\pi}{6} D_{50}^3} = \frac{6}{\rho_s D_{50}} \quad (3)$$

重回帰分析の結果、以下の式が得られた。

(i)  $P=0$

$$\text{TF}_{P1} = 0.234S + 90.5U_c - 1.60w + 41.1Q - 11.9 \quad (4)$$

(ii)  $0 < P \leq 10$

$$\text{TF}_{P2} = 0.310S + 4.57w + 103Q + 86.9 \quad (5)$$

(iii)  $P > 10$

$$\text{TF}_{P3} = 0.189S - 0.0230U_c + 7.509w + 46.4Q + 34.0 \quad (6)$$

(4)~(6)式を用いると、地盤条件により定まる細粒分含有率  $P$ 、比表面積  $S$ 、均等係数  $U_c$ 、含水比  $w$ 、施工条件より定まる気泡添加率  $Q$  の情報からTF値を推定でき、施工計画時の配合試験の目安になると考えられる。また、施工管理においても土質条件が変化した場合に、配合変更を迅速に検討できる。

#### 4. おわりに

本研究では、気泡混合土の流動性を、TF値で定量化し、比表面積  $S$ 、均等係数  $U_c$ 、含水比  $w$ 、気泡添加率  $Q$  を説明変数とする推定式を得た。

細粒分含有率  $P$  により、気泡と含水比が流動性に寄与する傾向が異なる。

推定式は、施工計画時の配合試験、施工管理中の

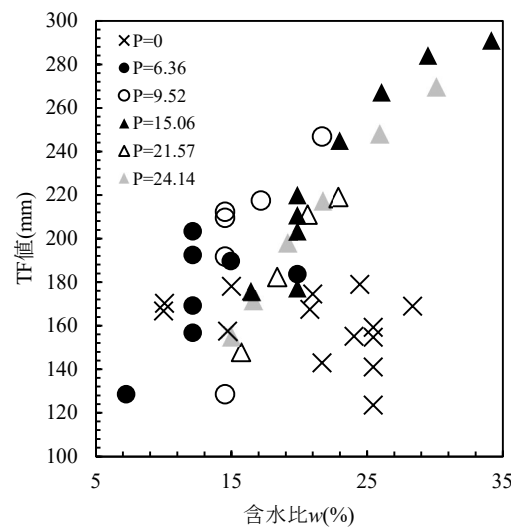


図-3 含水比とTF値の関係

地盤条件に伴う配合変更の目安になると考えている。

なお、本研究で対象としたのは模擬土であり、原地盤での適用可能性について、今後検討する予定である。

#### 5. 参考文献

- 1) シールド工法技術協会：気泡シールド工法 技術資料，2011.
- 2) 近藤義正，赤木寛一，仲山貴司：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 Vol. 64 No.3, pp. 505-518, 2008.
- 3) JIS R 5201，セメントの物理試験方法，pp. 20-21, 2015.
- 4) 平田光彦，赤木寛一，高野颯平，加藤麻衣：シールドチャンバー内の気泡混合土における消泡含水比の決定，第49回関東支部技術研究発表会，2022.