

III-B 151 大断面土圧シールド掘進機チャンバ内土砂の流動解析

日立造船 技術研究所 正会員 柳 浩敏

日立造船 技術研究所 東 恵美子

1. はじめに

密閉型シールド工法は、工事・施工上の作業環境のよさ、および、安全性の向上により広く用いられるようになってきている。特に、最近の都市部においてはその依存性が高く、地下鉄をはじめとする地下空間利用の機運が高まり、そのために、大型化、複合円断面化などの要求がなされるようになってきている。これらの理由により、広範囲な土質条件と大型化に対応したシールド掘進機技術の開発が盛んに行われている⁽¹⁾。著者らは、これらの要求に応え、泥水圧シールドチャンバについての流動解析を実施し、最適チャンバ形状、運転条件等の検討を行ってきた⁽²⁾⁽³⁾。本報では、解析の土質条件を泥土域の範囲まで拡大し、土圧シールドチャンバ内のアジテータ、混練翼、ステーの配置、運転条件等について検討を行った結果について述べる。

2. 解析方法

土圧シールドは切羽面から取り込まれた土砂と添加材がチャンバ内にて混練・流動化され排土される。混練状況については別途検討を行っており⁽⁴⁾、本報では塑性流動化された状態の土砂を対象に流動解析を実施する。すなわち、土砂を粘性流体として取り扱う。従って使用する基礎方程式は、連続の式、運動方程式、粘度特性式を用いる。これらの方程式を以下に示す。

<連続の式>

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

<運動方程式>

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (2)$$

<粘度特性式>

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{\Delta \cdot \Delta}{2} \right)^{\frac{n-1}{2}} \quad (3)$$

ここで、 x_i ：座標、 u_i ：速度、 t ：時間、 ρ ：密度

p ：圧力、 μ ：粘性係数、 Δ ：第二不変量

n ：べき乗指数

上記の支配方程式を差分法の一つである有限体積法を用いて離散化し数値解析により解いた。また、対象とする土砂の性質は水分や添加材との関係で様々に変化する。図1に土砂と水分の存在により変化する粘度特性を概念的に示す。泥土の範囲は図中Cの状態と土砂粒子のまわりに水分が十分にコーティングされている状態と考えられ、その場合の粘度

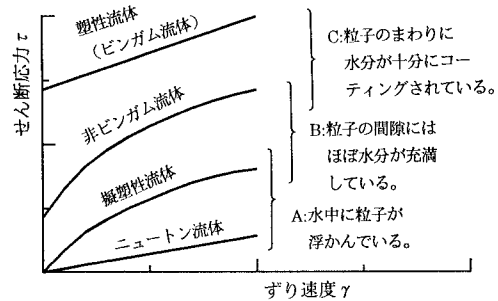
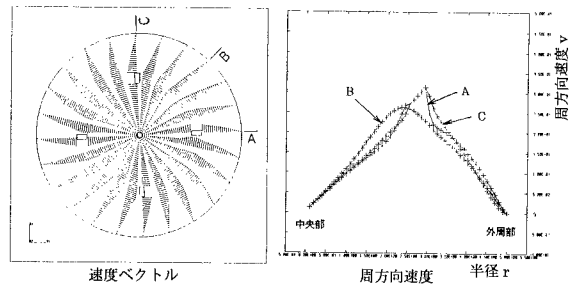
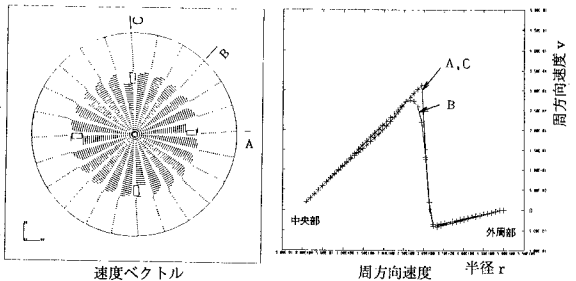


図1. 土砂と水分のレオロジー的性質



(a) 泥水の流動パターン



(b) 泥土の流動パターン

図2. 粘度特性の違いによる流動パターン

特性は、非ビンガム流体、塑性流体（ビンガム流体）の特徴を持つことが一般的に知られている。

3. 解析結果

粘度特性の違いにより流動がどのように変化するかを調べるため、10m の円筒内にてステアが4個回転しているモデルの解析を実施した。図2にその代表的な例を示す。(a)がニュートン流体に近い泥水の流動パターンである。回転しているステアの位置にて回転と同じ速度になり、中心および外周に向かって滑らかに速度が小さくなっている。(b)は降伏値を持った粘度特性、泥土の流動パターンである。回転しているステアの位置より中心部は泥水の流動パターンとほぼ同じように滑らかに速度が小さくなっているが、外周部はほとんど流動していない。このような速度分布になるのは、降伏値を持つ粘度特性のためであり、 $\tau < \tau_B$ の範囲では流動は起こらない。この結果より、外周部の混練翼は出来るだけ外壁に近くに設ける必要があることがわかる。

大断面土圧シールドチャンバの解析に用いた形状を図3に示す。チャンバ直径 11.52m で、3本の中央アジテータ、6本のステア、外周部の混練翼などをそれぞれ組み合わせて検討を実施した。粘度特性についても種々のモデルにて検討を実施した。ここで、その最も特徴的な結果について示す。図4が泥土の粘度特性（非ビンガム流体）の解析結果である。図中(a)は中央アジテータタイプ、(b)は中央アジテータ+混練翼タイプである。(a)ではステアより外周部がほとんど流動しておらず、このような場所が閉塞の可能性があるものと考えられる。(b)では混練翼があるために全体がよく流動化できており、比較的良好な混練翼の配置であるといえる。

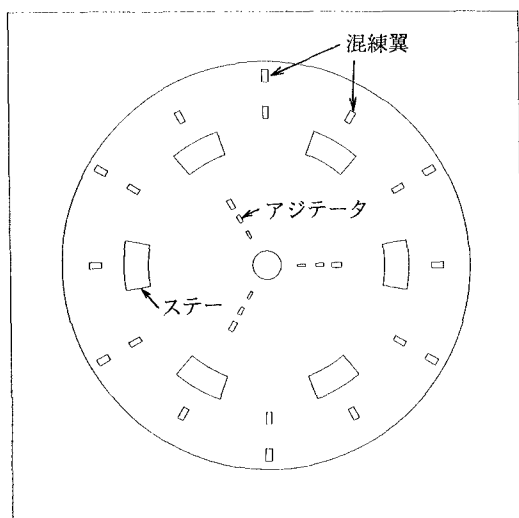
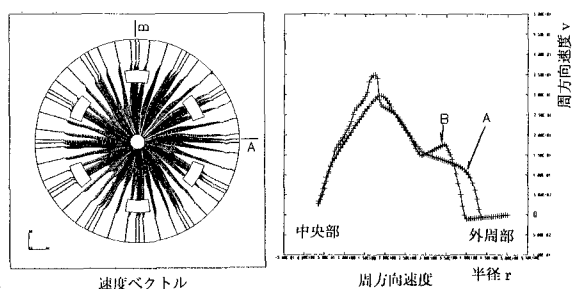
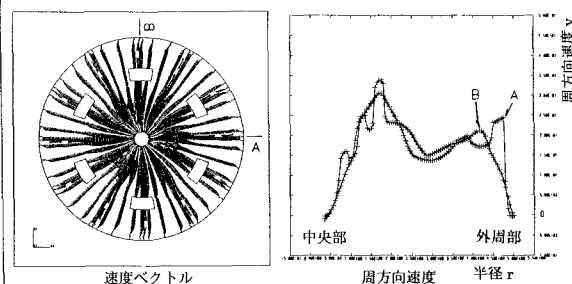


図3. 解析モデル



(a).中央アジテータ タイプ



(b).中央アジテータ+混練翼 タイプ

図4. 土圧シールド、混練翼の効果

4. まとめ

大断面土圧シールド掘進機チャンバ内土砂の流動解析を実施し、アジテータ、混練翼、ステアなどについて検討を行った。その結果、泥土の流動は、泥水の流動パターンと大きく異なり混練翼の外側には流動効果が非常に少ないことが確認でき、土圧シールドチャンバ構造決定の重要な設計指針が得られた。

参考文献

- 1). 吉川、日立造船技報、Vol.54、No.4、P4、(1993.12) , 2). 柳、他6名、日立造船技報、Vol.54、No.4、P269、(1993.12)
- 3). 柳、他3名、第49回土木学会年次講演会、(1994.9) , 4). 佐々木、他2名、第51回土木学会年次講演会発表予定