

## チャンバー内土砂流動性可視化システム（その2）－現場適用結果－

(株)大林組 正会員 ○香川 敦 正会員 菅野 静 正会員 日高基裕  
正会員 河口琢哉 正会員 吉本和哲

### 1. はじめに

泥土圧シールド工法におけるチャンバー内の土砂の状態をリアルタイムに解析・可視化するシステムを開発し、これまで多くのシールド掘削施工に活用してきた。またシステムの解析精度向上を目指し、土砂の粘度特性をより正確に把握するための実験も並行して行ってきた<sup>1)</sup>。本研究では、それら実験で得られた知見に基づいて改良した本可視化システムの現場適用結果を報告する。

### 2. チャンバー内可視化システムの概要と改良点

本システムではチャンバー内の流動性土砂を粘性流体とみなし、図-1のような土砂の粘性抵抗を計測する装置（フラッパー）と、図-2のようにチャンバーやスポークなどを詳細にモデル化した3次元流体解析によって、リアルタイムに土砂の粘度およびずり応力の分布を表し、土砂の状態を把握するものである。流体解析で最も重要なパラメーターは粘度特性であるが、筆者等のこれまでの研究で、チャンバー内の土砂の粘度特性は図-3に示すような擬塑性流体に近い特性を有することが知見として得られた<sup>1)</sup>。これをモデル化できる数式として、べき乗式  $\tau = C\dot{\gamma}^{(1-n)}$ （ここに  $\tau$ ：ずり応力， $\dot{\gamma}$ ：ずり速度）を新たに解析に組み込むとともに、可視化システムの手順を改めた。具体的には、①土砂が静止しているセグメント組立中にフラッパーを適切な回転数で攪拌させ、計測したトルクを用いてべき乗式の  $n$  の値をフィッティングする ②掘進中にスポークにより土砂が攪拌流動すると、フラッパートルクに変動（トルク振幅）が発生するが、トルク振幅の実測値と流体解析によるトルク振幅解析値が整合するように  $C$  の値をフィッティング解析する ③振幅の実測値と解析値が整合したら解析を終了し、解析結果の土砂の「流速」，「ずり応力」および「粘度」の分布図を示し、土砂の状態を可視化するという手順のシステムを構築した。

### 3. 357号東京港トンネル（その2）工事の概要

今回改良した可視化システムを適用した357号東京港トンネル（その2）工事は、国道357号線の大井側～臨海副都心側間の東京港トンネル（東行き）を泥土圧シールドで施工するもので、シールド外径 $\phi 12.2\text{m}$ 、シールド延長1,315m、2016年7月に大井側からシールド掘進を開始し、2017年1月に臨海副都心側に到達した。図-4に工事の概要図を示す。シールドが掘進通過する土質は、発進から113リング(R)までが砂礫層、114～148Rが砂混じり粘土層、149Rから到達までが粘土層であった。使用した3次元流体解析モデルを図-2に示す。

### 4. 現場適用結果（その1）

セグメント組立中の回転数を当初1.0，2.0，3.0，4.0rpmと設定していたため、この回転数を用いて可視化システムの運用を開始した。図-5にセグメント組立中のフラッパー回転数とトルクの関係を示す（148リン



※357号東京港トンネル  
（その2）工事の  
シールド到達後に撮影

図-1 フラッパー

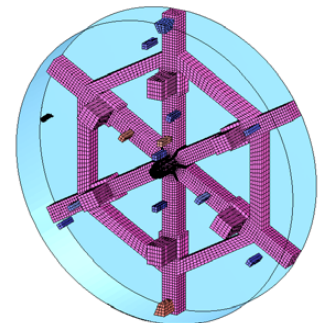


図-2 3次元流体解析モデル

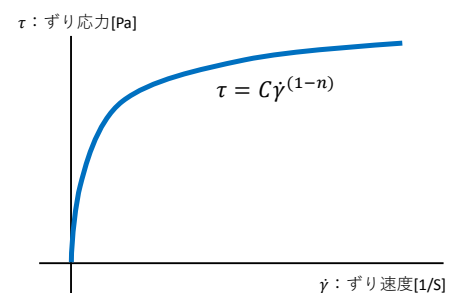


図-3 擬塑性流体の粘度特性

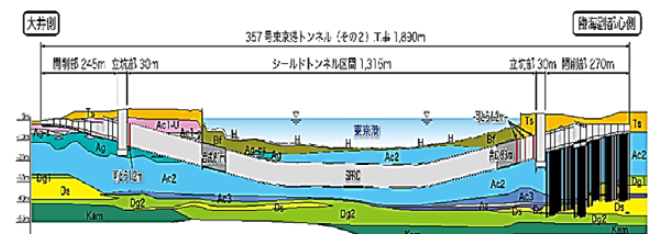


図-4 357号東京港トンネル（その2）工事概要図

キーワード シールド，泥土圧シールド，チャンバー内土砂性状可視化，土砂の粘度特性

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL：03-5769-1318

グ)．トルク値は回転数に対しほぼ線形（青点）となり，ずり応力の小さな領域が現れておらず，擬塑性流体の特徴を把握出来ていない．フラッパー回転数を変更するための機械の改造に時間を要するため，想定される擬塑性流体に対し直線近似した粘度特性（図の赤線）を仮定してチャンバー内可視化システムを運用し，また解析結果について回転数変更後のものと比較することとした．図-6 にチャンバー中央断面の粘度分布を示す．ずり速度が小さい中心部には，仮定した初期の一定勾配の粘度が広く分布しており（図-6 の黄色の部分），解析結果が仮定に基づいた粘度特性によって大きく影響される結果となった．正確な粘度特性の把握のため，フラッパー回転数の変更が強く求められた．

5. 現場適用結果（その2）：回転数変更後

図-7 にセグメント組立中のフラッパー回転数を 0.3，0.4，0.5，1.0rpm に変更した後のセグメント組立中のフラッパー回転数とトルクの関係を示す（380 リング）．土砂は擬塑性流体に近い粘度特性を示している．図-8 にチャンバー中央断面の粘度分布を示す．フラッパーの回転数変更前と異なり，ずり速度が小さい中央部において非線形の粘度特性に応じた粘度分布を示している．カッターヘッド中間ビームに沿って粘度が帯状に黄色く分布しているが，これはビームの回転と共に土砂が共回りし，ずり速度が小さな流れになっていることを示している．ビーム部分で土砂が共回りし，流動化されにくい傾向にあることが新たな知見として得られた．また全体的に適度な大きさの粘度分布となり，実際の排土状態が良好であったことと一致している．

6. 掘削土のスランプ試験結果と可視化システム出力結果

表-1 に，粘土層掘進中にスクリーコンベアーから排土された直後の掘削土のスランプ試験結果と，目視による土砂の状態および掘進中のフラッパートルク振幅平均値を示す．また，これらはフラッパー回転数の変更前の解析結果であるが，解析の粘度分布を図-9 に参考として示す．スランプ試験結果に現れている土砂の状態が，フラッパートルク振幅および解析粘度分布によって評価されていることがわかる．

表-1 掘削土スランプ試験結果

| スランプ試験日時   |       | リング番号 | スランプ       | 土砂の状態 | 掘進中のフラッパー<br>トルク振幅平均値 |
|------------|-------|-------|------------|-------|-----------------------|
| 2016/10/20 | 16:20 | 197   | 10cm       | やわらかい | 9.3 N・m               |
|            | 16:50 |       | 12cm       | やわらかい | 6.4 N・m               |
| 2016/11/9  | 14:55 | 326   | 7.5cm      | 良好    | 46.9 N・m              |
|            | 15:10 |       | 7cm        | 良好    | 33.1 N・m              |
| 2016/11/11 | 15:40 | 336   | 粘性が大きくコーンに | やや硬い  | 57.2 N・m              |
|            | 16:00 |       | 粘度が付着し計測不可 | やや硬い  | 60.7 N・m              |

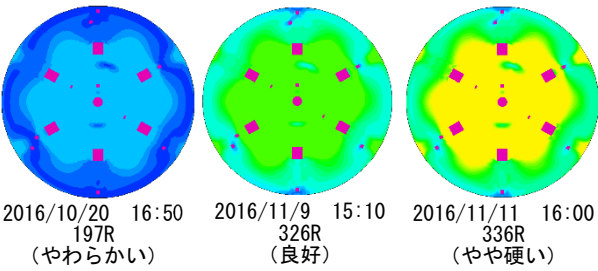


図-9 粘度分布

7. まとめ

これまでの実験結果を踏まえたシステムの改良および本現場への適用の結果，本可視化システムが適切にチャンバー内の土砂性状を評価できることが検証できた．今後も東京外かく環状道路本線トンネル（北行）東名北工事および八王子南バイパス館第一トンネル工事を含む他現場への適用を重ね，検証を行うことで，様々な土質に対応できるようチャンバー内可視化システムのさらなる精度向上を図れるものと考えている．

参考文献 1) 菅野 他：チャンバー内土砂流動性可視化システム（その1）－土砂粘度特性の確認実験－年次講演会，土木学会，2017（投稿中）

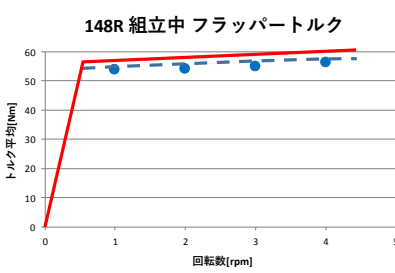


図-5 フラッパー回転数とトルクの関係

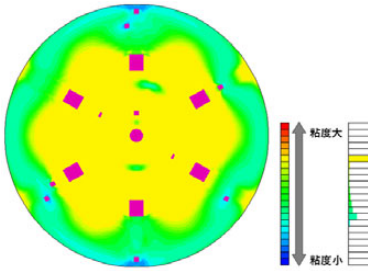


図-6 粘度分布図

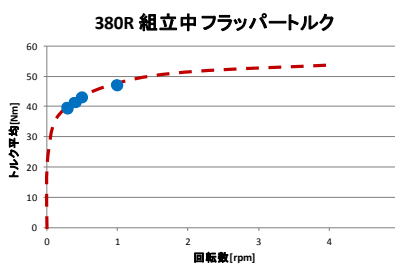


図-7 フラッパー回転数とトルクの関係

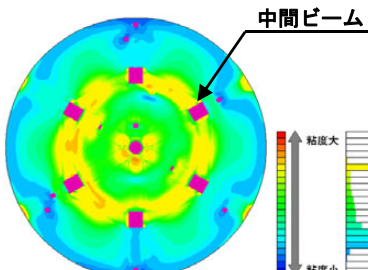


図-8 粘度分布図