

大断面泥土圧シールドにおけるチャンバー内可視化技術

(株)大林組 正会員 ○井澤 昌佳
 首都高速道路公団 正会員 土橋 浩
 首都高速道路公団 馬上 信一
 大林・大豊・東急JV 正会員 中山 正夫

1. はじめに

大断面泥土圧シールドでは、切羽安定を保持するため、①掘削土の流動状態管理、②切羽土圧管理、③掘削土量管理が重要である。特に、チャンバー内土砂の塑性流動状態の把握方法が確立されておらず、泥土圧シールドの大断面への適用範囲拡大の妨げになっている。そこで、首都高速中央環状新宿線のSJ51工区～SJ53工区（外回り）トンネル工事では、大断面泥土圧シールド（掘削外径 12.02m）におけるチャンバー内土砂の塑性流動状態を評価・把握することを目的として、チャンバー内可視化技術を導入した。

本稿では、チャンバー内可視化技術の概要と計測方法、及びチャンバー内における土砂流動の初期解析結果について報告する。

2. チャンバー内可視化技術概要

チャンバー内可視化技術におけるシステム全体フローを図-1に示す。

チャンバー内可視化技術は、粘性流体力学を基本とする土砂流動解析を用いた解析モデルの構築と、掘進データをフィードバックするチャンバー内計測、及び加泥材の注入量等に代表される掘進管理から構成される。

3. 計測方法

チャンバー内計測のため、図-2に示す位置に電動回転式フラップ（写真

-1）を4箇所設置した。計測はゲートバルブを開き、油圧ジャッキで計測部をチャンバー内に押し出し、フラップを電動モーターで回転させることにより、各回転角度の回転トルクと電流値を測定し、最も回転トルクの高いフラップの角度と電流値により、土砂の流れの方向と速さを推定する。

4. 解析モデルと解析結果

解析はシールドチャンバー内の攪拌翼や固定翼を詳細にモデル化し、土砂流動解析に用いる基礎方程式は、チャンバー内の土砂を地山と加泥（気泡）材から構成される流体と仮定し、仮定密度成層を考慮した非圧縮ナビエ・ストークス方程式¹⁾を用いる。解析条件としては、チャンバー内の形状寸法や流体密度（地山密度

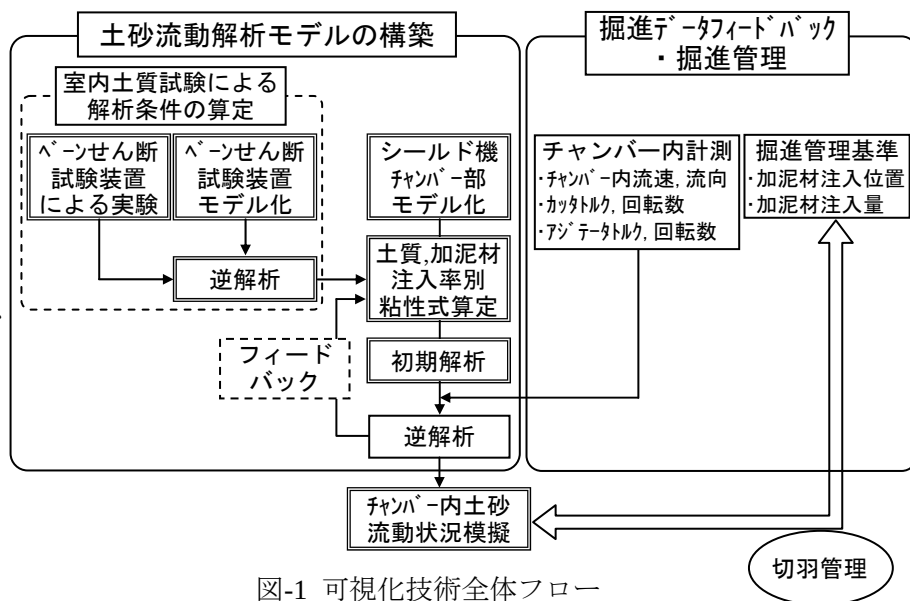


図-1 可視化技術全体フロー

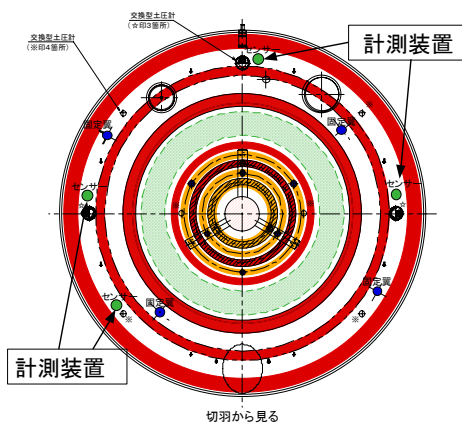


図-2 計測装置設置位置



写真-1 電動回転式フラップ

と加泥材密度の体積占有率比により算出)、面板や中央アジテータの回転速度、掘進速度、各土質における粘性式などである。最も重要な解析条件となる各土質の粘性式は、大型ベーンせん断試験と試験装置をモデル化した土砂流動解析により算定し、チャンバー内可視化技術の解析モデルに適用する。SJ51工区～SJ53工区（外回り）トンネル工事の解析モデルを図-3に示す。

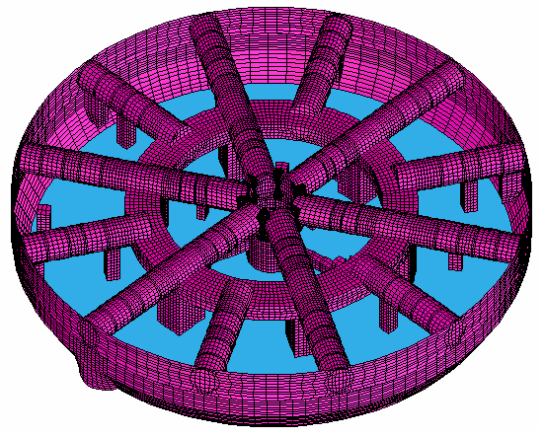


図-3 解析モデル図

また、このモデルを用いた土砂流動解析結果例を図-4、図-5に示す。図-4は、チャンバー内における土砂流速分布を示す。矢印は土砂の流向を示し、矢印の色が赤いほどその流速が早く、青いほど流速が遅いことを示している。これより、中央アジテータ部の流速が早く、シールド最外周部や攪拌翼部で部分的に流速が遅くなっており、チャンバー内に土砂の流速分布が発生していることが想定できる。

図-5は、図-4と同一断面での粘度分布を示しており、青色から赤色に移行するにしたがって、粘性が高くなることを示している。カッタ支持部付近では環状に粘性が高い箇所が分布し、それ以外の部分ではほぼ一様な粘性となっており、土砂の攪拌が十分行われている結果を得た。

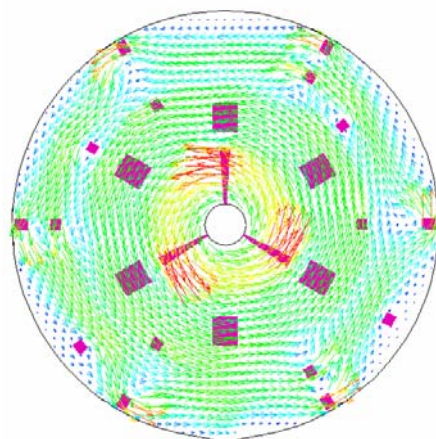


図-4 流速分布図

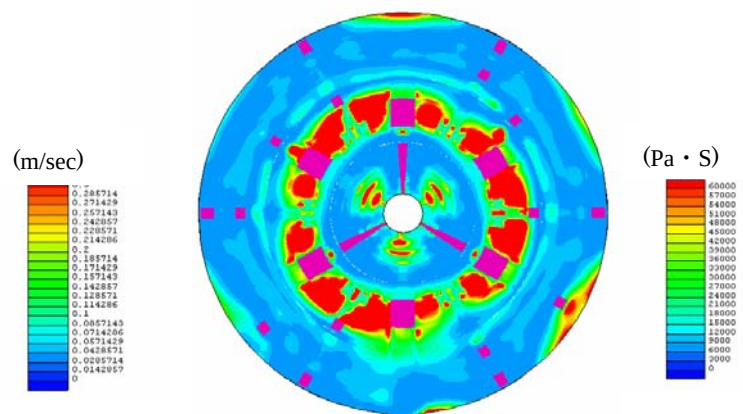


図-5 粘度分布図

また、チャンバー内可視化技術における解析モデルの精度を向上させるため、実掘削時におけるアジテータの回転トルクやカッタトルクを計測し、各土質の粘性式を逆解析することで、当初得られた粘性式と実掘削時に得られる粘性式との整合性を取ることににより、解析精度の向上が図られるものとする。様々な地盤や、添加材の量や種類を変更した土砂に対して、チャンバー内可視化技術を適用することで、より高精度な土砂流動状態の把握に繋がり、その結果を踏まえた最適かつ緻密な掘進管理（添加材の注入管理等）や、切羽安定が得られ、進捗率の向上および周辺地山への影響を抑制した良好な掘削が可能と考える。

5. おわりに

この技術を確認することで、これまで不透明であったチャンバー内掘削土砂の塑性流動状態を視覚的に捉えることが可能となり、掘進中のトラブルを減少させることは言うまでもなく、適切なシールド機的设计（カッタスポーク、攪拌翼、添加材注入孔等の配置や数、スクリーコンベアの径、基数や位置）及び、掘進管理（添加材の注入管理）手法の確立に寄与すると考える。

なお、本稿ではチャンバー内可視化技術手法とこの技術を用いた初期解析を中心に報告したが、次回報告では実掘削の計測を含めて、解析モデルの妥当性と本技術の確立について報告する予定である。

参考文献

- 1) 日本流体力学会：流体力学ハンドブック、昭和 62 年 7 月 20 日発行