

粒子法を用いたチャンバー内攪拌状況の評価方法

前田建設工業（株） 正会員 〇鶴巻 慎也 正会員 野本 康介
正会員 白川 元彦 森山 茂

1. はじめに

泥土圧シールドでは、切羽圧管理の観点からチャンバー内の土砂の塑性流動性を確保することが重要視されている。しかし、掘削土と添加材が一様に混ざっているか、実際のチャンバー内を三次元的に可視化することは困難である。また、カッター回転数や掘進速度、注入孔の位置や各位置からの注入量などを設定する際に明確な根拠が無いのが現状である。そこで粒子法を用いたチャンバー内の土砂の流動解析を行い、その攪拌状況を評価する方法を考案したので報告する。

2. 解析概要

(1) 使用ソフトとモデル

粒子法は流体を粒子に置き換えて力のバランスから動きを解析する手法である。従来用いられてきた格子法と比較して、物質の動きを追跡しやすい利点がある。反面、解析の時間刻みが細かく計算時間が長い欠点があるが、計算機の実力の向上により年々短縮される傾向にある。本解析では、外径φ14mの大断面シールドの形状を三次元データで取り込み、流体解析ソフト「Particleworks」を用いて、土砂がチャンバーに取り込まれて攪拌され、排出口から排土されるまでをシミュレーションした。

図-1 に解析モデルの概要を示す。

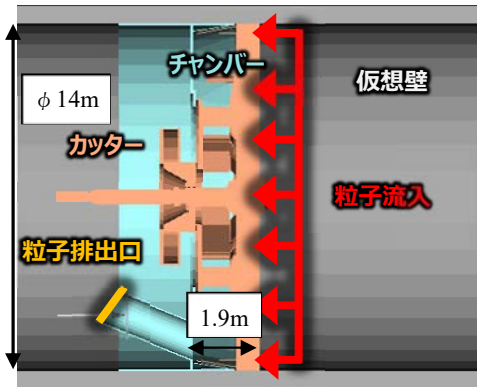


図-1 解析モデルの概要

(2) 解析条件

本解析の主な条件を表-1 に示す。掘進速度とカッター回転数はマシンメーカー推奨の値を用い、現象時間と粒子径については有為な結果が得られる範囲で計算時間が短くなる値を設定した。チャンバー内の土砂の特性を表現する動粘性係数は0.5m²/sで固定値とした。

表-1 解析の主な条件

現象時間[s]		15,200
変数	解析時間刻み[s]	2.0×10 ⁻²
	粒子径[mm]	150
	密度[kN/m ³]	10
	掘進速度[mm/min]	30
	カッター回転数[rpm]	0.48
	動粘性係数[m ² /s]	0.5

3. 評価方法

チャンバー内で一様に攪拌されているかを評価するため以下の3つの方法を考案した。具体的には、カッター前面の内径側と外径側に注入孔を想定し、その位置から入ってくる粒子を青と赤に着色して各々の動きを追跡した(図-2, 3)。

(1) 粒子トレース

青と赤に着色された粒子がチャンバー内で攪拌されて排出するまでの軌跡を描画する。着色粒子が攪拌されていく様子を動画で表現できる。

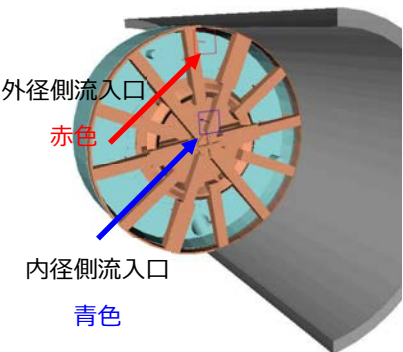


図-2 着色流入口

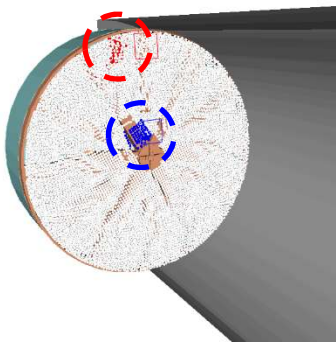


図-3 流入直後の様子

(2) チャンバー断面

チャンバーのカッターから隔壁まで数断面を切り出し、各々の断面に含まれる着色された粒子の分布を示す。粒子が面的に一様に攪拌されてゆく状況を可視化することができる。

キーワード シールドトンネル、大断面、粒子法、可視化、攪拌状況の評価

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業(株)土木技術部 TEL03-3265-5551

(3) 排出粒子数

排出口から出てきた着色された粒子を数える。外径側と内径側の粒子が一樣に攪拌されていれば均一に出てくる。統計手法を用いて定量的に評価できる。

4. 解析結果

(1) 粒子トレース

粒子トレースの動画の一場面を図-4 に示す。カッター付近では青の内径側粒子は内側に留まり赤の外径側粒子は外周側を回り、顕著な混合はなかった。隔壁に近づくにつれ徐々に2色の粒子が混ざる様子が確認できた。

(2) チャンバー断面

チャンバーから抽出した断面を図-5 に示す。断面C→B→Aとカッターから隔壁に向かうにつれ、着色された粒子が断面内で一樣に分布してゆく様子が確認できた。なお、粒子を数えることで分布の一樣性を定量的に評価することもできる。

(3) 排出粒子数

排出口を通過した着色された粒子数を 400 秒毎（掘進200mm 毎）にプロットした結果を図-6 に示す。解析開始時はチャンバー内に着色された粒子が存在しないため粒子数は 0 であるが、時間が経過すると流入した粒子数と排出した粒子数がつりあって安定した状態になった。安定状態における青の内径側粒子と赤の外径側粒子の平均とばらつき（変動係数）を表-2 に示す。内径側粒子と外径側粒子がほぼ同数排出されており、変動係数は10%以下であった。

例えば掘進速度が速すぎて一樣に攪拌される前に排出された場合は、2色の平均の差や各色の変動係数が大きくなると考えられる。掘進や注入に係わる各種のパラメータを変更した解析を実施し、これらの値を比較することで、より一樣に攪拌される掘進方法、添加材の注入方法を施工に先立って選択することができる。

5. まとめ

粒子法を用いたチャンバー内の土砂の流動解析を行い、可視化や定量化による3つの方法で攪拌状況の評価できることを確認した。これらの方法を用いることで、より一樣に攪拌できる掘進方法や、攪拌に最適な添加材の注入位置や注入量などを事前に比較検討できると考えられる。今後の課題として、各種パラメータの妥当性や解析精度の向上のため、要素実験やモデルを用いた実験等を行う必要がある。

最後に、本取り組みにあたりご指導をいただきました早稲田大学名誉教授の小泉淳先生に厚く御礼申し上げます。

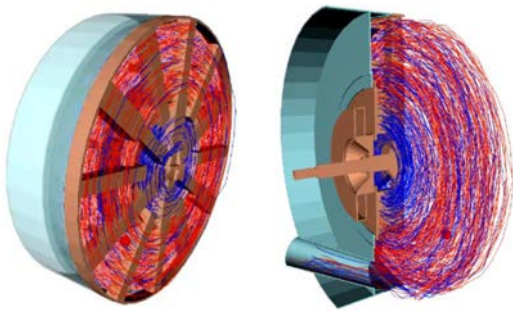


図-4 粒子トレース動画の一場面

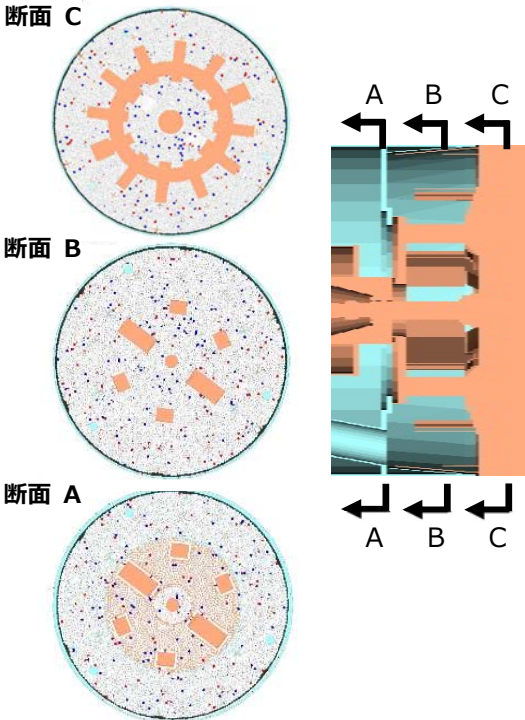


図-5 チャンバー断面

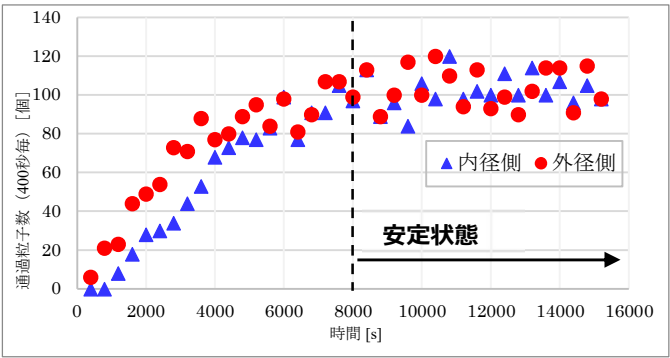


図-6 400 秒毎の排出粒子数

表-2 排出された粒子の平均とばらつき

	内径側粒子(青)	外径側粒子(赤)
平均	101.8 個	103.7 個
変動係数	8.3%	9.6%