

土砂混練状態の解析手法の開発

大成建設株式会社 土木技術部 正会員 ○山田 紀之
 大成建設株式会社 機械部 正会員 藤谷 俊実
 株式会社 I H I 社会基盤事業部 中根 隆

1. はじめに

泥土圧シールドにおいてチャンバー内土砂の塑性流動化は、切羽の安定、掘削の効率化において非常に重要な要素である。近年、トンネル断面の最適化、低コスト化により、矩形断面や大断面泥土圧シールドの採用が増えている。矩形断面などに採用される揺動カッター、チャンバー内閉塞が懸念される大断面泥土圧シールド等においてチャンバー内土砂の混練状況を把握することは非常に重要であり、そのニーズは高まりつつある。

本研究では土砂混練状態をシミュレーションで把握することとし、より精度の高い土砂シミュレーションを得るために、土砂混練の基礎実験からシミュレーションの土砂パラメータを決定した。

2. 土砂混練実験

実験装置概観写真を図-1、および実験装置を上から見た写真を図-2に示す。

実験装置はカッターを模擬したスポーク、攪拌翼、矩形チャンバーにより構成されており、実験装置上方から土砂を入れ攪拌する。攪拌した土砂の挙動が把握しやすいように土砂とほぼ同比重となるトレーサーをあらかじめ所定の位置に配置する。攪拌後、トレーサーの位置を記録し土砂の流動軌跡を確認した。実験は揺動、回転の2種類、揺動角(回転角)は 25° ～ 720° で実施した。

実験は蓋をして所定の回数カッターを揺動(または回転)した後、5cmづつ土をすき取りトレーサーの分布状況の写真撮影を行った。

図-3はカッターを 90° 回転させたときの深さ15cmにおけるトレーサーの分布状況の写真である。図中、黒の実線はトレーサーの初期位置を示す。

カッターを 90° 右回転させたところ、トレーサーの初期位置をよぎるスポークの前方で圧密された土砂と共にトレーサーが運ばれた様子がよくわかる。



図-1 実験装置概観

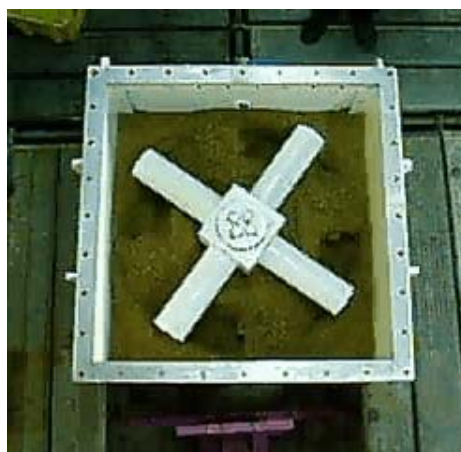


図-2 実験装置上から見る

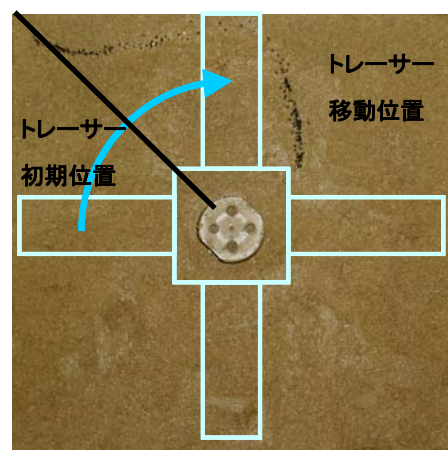


図-3 トレーサー分布状況

キーワード 泥土圧シールド, 土砂混練, シミュレーション, 塑性流動

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 TEL 03-5381-5284

3. シミュレーションへの反映

土砂の塑性流動モデルとして, Bingham (ビンガム) 塑性粘性モデルを用いた. 格子数は約25万要素である. 攪拌翼の揺動運動は, ダイナミックメッシュ法を用いた. ダイナミックメッシュ法は図-4に示すように格子を再生成しながら形状の変形・移動を追跡する手法である.

土砂混練実験で得られた結果からシミュレーション土砂パラメータ(粘性, せん断力など)を決定した.

図-5に実験時のトレーサー分布(黒プロット)とシミュレーションの仮想トレーサー分布(赤プロット)とを比較した結果を示す. 実験条件として左右90°揺動を1~4回行ったときの結果を示している. 2つのプロットを比較すると, トレーサーの現れる(スポークによって搬送される)場所は揺動, 回転ともに実験結果とシミュレーション結果で良好一致を示していた.

4. 実機適用と今後の対応

本研究にて得られた解析手法を実機に適用した. 揺動カッターを装備したハーモニカ工法の矩形シールド(図-6)にはスポークの後方に設けられた攪拌翼以外に, 隔壁側に固定翼を多数配置して攪拌翼と固定翼のせん断によってチャンバー内土砂を混練する設計となっている. 実機モデル(図-7)を作成し, シミュレーションを行った.

混練性能を評価するために混合度(ばらつき標準偏差 σ を最もばらついた標準偏差 σ_0 で正規化, 0に近いほどばらつきが大きい)という定量的指標を導入し数値化した結果を図-8に示す.

図-8より固定翼のないときに比べ, あるときの方が常にばらつきが大きく混練性能が高いと言える. また回転に比べ揺動は混練性能が劣ることがわかる.

今回得られたシミュレーション技術を実機設計段階で適用し最適な混練機構を構築するとともに, 施工中のフォローも行い, より精度を高めたい.

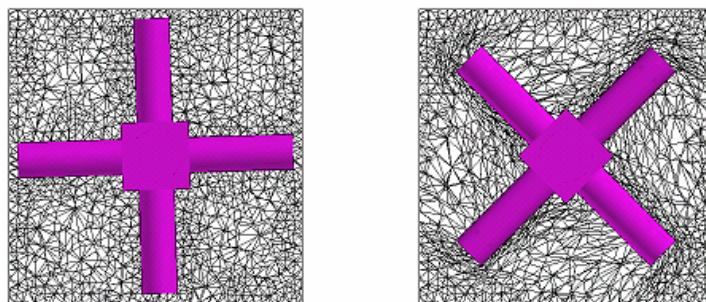


図-4 ダイナミックメッシュ法

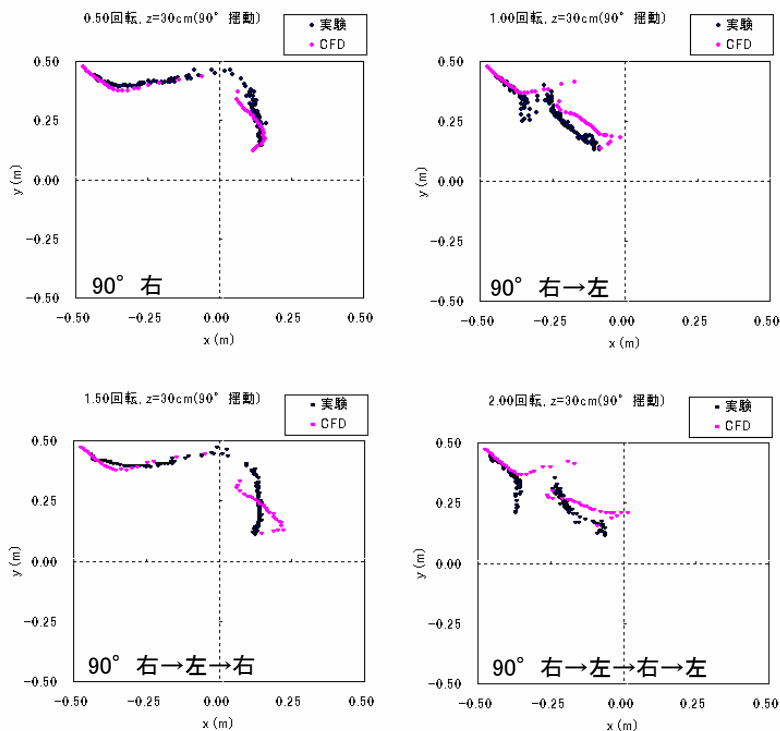


図-5 実験とシミュレーションとの比較

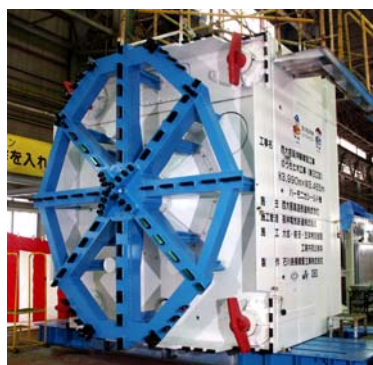


図-6 ハーモニカシールド

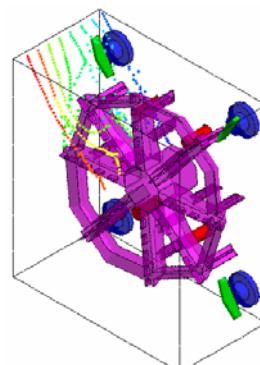


図-7 実機モデル

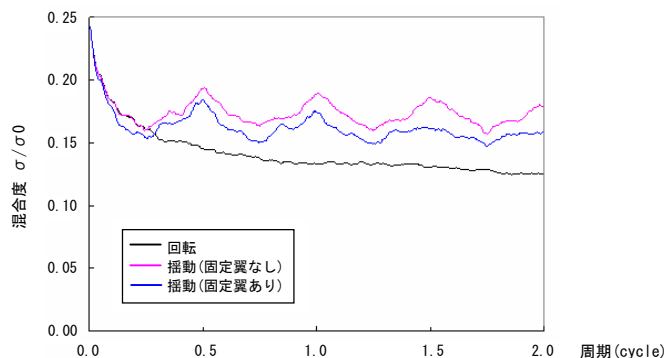


図-8 混練性能の評価