

III-B 152 大断面土圧式シールド掘進機チャンバ内土砂挙動シミュレーション

日立造船（株）技術研究所 正会員 佐々木 加津也

日立造船（株）技術研究所 正会員 清水 賀之

日立造船（株）建機設計部 西田 昭二

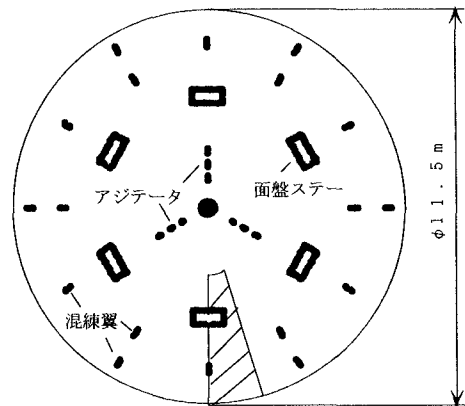
1. はじめに

土圧式シールド掘進機は、掘削土でチャンバ内を満たすことによって切羽を保持しながら掘進する。従来、直径 10m 以上の大断面のトンネル施工では、そのほとんどが排土や切羽保持が容易な泥水式シールドが使用されており、掘削土の作泥材による塑性流動化の難しさ等から土圧式シールドの適用例は少ない。すなわちチャンバ中心部では面盤の移動速度が小さくなって、土砂の混練および流動化が十分に行われにくい。これらの対策として、チャンバ内に混練翼やアジテータなどの混練装置が設置されているが、これらの効果は十分に把握されておらず、混練翼の配置やアジテータの運転条件等は経験的に設定されている場合が多い。そこでチャンバ内の土砂挙動を把握し、チャンバ構造を最適化するために個別要素法による数値シミュレーションを行った。

2. 計算モデルおよび計算条件

個別要素法は土砂などの粒状体の挙動解析方法の一つである。近年の計算機の高速化および大容量化に伴い、従来検討が難しかった現象にも適用されつつある。今回、チャンバ内の土砂挙動解析に 2 次元個別要素法を適用した。

図-1 は計算に使用した土圧式シールドチャンバモデルを示したものである。チャンバ径は 11.5m とし、内部に面盤ステー、混練翼およびアジテータを設置した。全混練翼が面盤と同一に回転するタイプ(Type-A)および一部の混練翼が固定されているタイプ(Type-B)の二種類の形状について検討を行った。なお、図中に後述する土砂の速度分布および混練状況を評価する領域を示す。表-1 に計算条件を示す。粒子の物性値は砂質土をモデル化した。また、アジテータおよび混練翼の回転数は直径約 10 m の実機の運転条件を参考にして決定した。



□ 評価領域

図-1 チャンバ計算モデル

3. 計算結果

図-2 に計算結果を示す。図の濃淡は粒子の挙動が把握しやすいように粒子の初期配置時の高さごとに着色したものである。Type-A では、全混練翼と面盤ステーが同一の角速度で回転しているため、その周辺の粒子が同一の角速度で回転してしまいほとんど混練されていないが、壁面周辺および面盤ステーとアジテータとの中間部分では、角速度が異なるため粒子が混練されている。一方 Type-B では、Type-A より混練されている。これは、Type-A と比較して角速度の異なる領域が増加したことによるものと考えられる。固定翼の効果は固定翼周辺のみでなく、面盤ステーの内側にも有効である。図-3 はチャンバ位置と粒子の周方向

表-1 計算条件

粒子数	11905 個
粒子径	100 mm
摩擦係数	0.9
粒子密度	2700 kg/m ³
土圧	2.0 kgf/cm ²
面盤回転数	0.5 rpm
アジテータ回転数	1.8 rpm

速度の関係を示したものである。なお、速度は単位セル（図-1の斜線部領域を半径方向に0.5間隔で分割）内の全粒子の平均速度を5秒毎に求め、さらに1回転分を平均しているためかなり平滑化されている。粒子速度は、Type-Aでは面盤（混練翼）とほぼ同じであり、Type-Bでは外周部において面盤と速度差が生じている。図-4はチャンバ位置と単位時間当たりの粒子混練率（1回転分の平均値）の関係を示す。混練率Pは式(1)で定義される量で、単位時間（5秒）当たりのセル内粒子の入れ替わりを求めるものであり、混練度合いを定量的に評価できる。なお、セルは粒子速度の計算と同様である。Type-Aでは、面盤ステアーから混練翼付近においてほとんど粒子の混練が起こっていないのに対し、Type-Bでは、混練率が最も低い面盤ステアー周辺でも10%以上あり良好である。

$$P = \frac{N_{out}}{N} \times 100 \quad (1)$$

N:セル内の粒子数
N_{out}:セルから出た粒子数

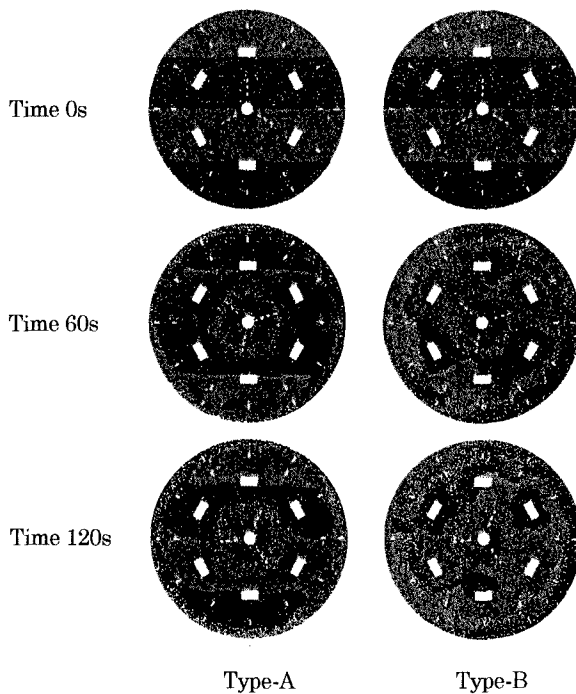


図-2 計算結果

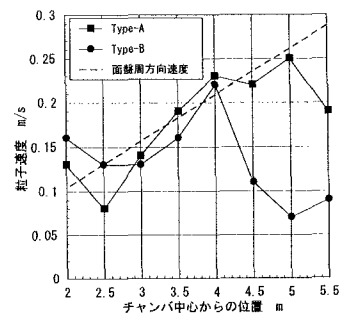


図-3 粒子の速度分布

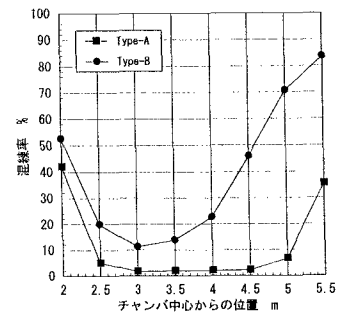


図-4 混練率分布

4. まとめ

個別要素法を用いてチャンバ内土砂挙動のシミュレーションを行った。その結果、チャンバ内に固定翼がある場合は、固定翼周辺のみでなくチャンバ内で広範囲に影響を及ぼし良好な混練効果が得られることが確認できた。また全混練翼が回転する場合は、回転体（面盤ステアー、混練翼）が同一の角速度であるため、その周辺の粒子が回転体と一体となり同一の角速度で運動するため混練効果が小さかった。今回、チャンバ内の2次元断面における土砂挙動の解析を行ったが、さらに、3次元解析を行って最適なチャンバ形状を提案したいと考えている。

参考文献) Cundall,P.A.and Strack,O.D.L :A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies, Geotechnique,Vol.2,Np.1(1979) p.47