

III-PS1

二連形シールドにおけるチャンバ内の土砂流動に関する数値シミュレーション

大林組技術研究所 正会員 山下幸夫
 大林組技術研究所 正会員 ○上野敏光
 大林組技術研究所 正会員 藤原紀夫
 リクルート 榎崎邦男

1. はじめに

最近の都市部のトンネル工事では、密閉型シールドによる施工が主流であり、それらについての切羽の安定性やマシン効率と関連した施工の経済性などを向上させるために、チャンバ内での掘削土砂の攪拌・流動特性を把握する必要がある。特に、社会的ニーズから大断面を有するものや異形断面を有するものなどが考案されており、幾つかの現場において施工も行なわれている。中でも、二連形のシールドマシンは、トンネルの内空断面の有効利用ということを考慮すると、その適用範囲も広がってくるため、以後、施工実績も増えてくると思われる。

そこで、本研究では二連形シールドを想定し、チャンバ内での土砂流動に関して数値シミュレーションを行って、掘削土砂の流動特性や流動経路および排土口の位置選定による流動への影響について検討した。

2. 解析手法と解析モデル

シールドチャンバ内は、掘削土砂や作泥土材などの複数の材料が混じり合った多層混合状態であり、マシン形状も二連形を想定しているので、それぞれの断面での相互影響も受ける。しかも、アジテータや攪拌翼によってそれらを攪拌・混合するため、チャンバ内部での掘削土砂は、複雑な挙動となり従来の解析手法では、この問題に対処することができない。本研究では、マルチブロック法を採用することで、攪拌問題および移動境界問題に対処できるようにした。また、各材料を流体として取り扱うことで、二層流の混合問題として数値解析を行なえるようにしている。

解析領域は、全部で8つのブロックに分割した。解析モデルは、図-1に示すように $\phi 9.36\text{m} \times 15.86\text{m}$ とし、アジテータ2基と攪拌翼をモデル化した。攪拌翼は、カッターと一体になって回転するものと、隔壁に固定されたものの2種類を設定した。また、カッターの回転数は、 0.7 r.p.m 、アジテータの回転数は、 1.9 r.p.m とし、カッターの回転方向は、左右がお互い逆方向に回転するようにし、アジテータは、それぞれのカッターに対して逆方向に回転するように条件を設定した。物性値については、掘削土砂は、粘性係数が $3.0\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、密度が 1.6 t/m^3 、降伏値が 5000 dyn/cm^2 のビンガム流体を仮定し、作泥土材(起泡剤)は、粘性係数が $1.5\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、密度が 0.2 t/m^3 、降伏値が 100 dyn/cm^2 のビンガム流体を仮定した。また、解析に際して、チャンバ内が常に土砂で充填された状態を仮定したので、流入量と流出量も当然、平衡状態を保っているものとしている。

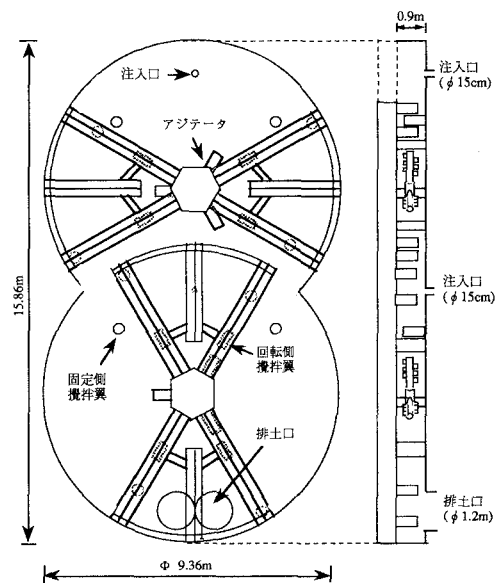


図-1 チャンバモデル図

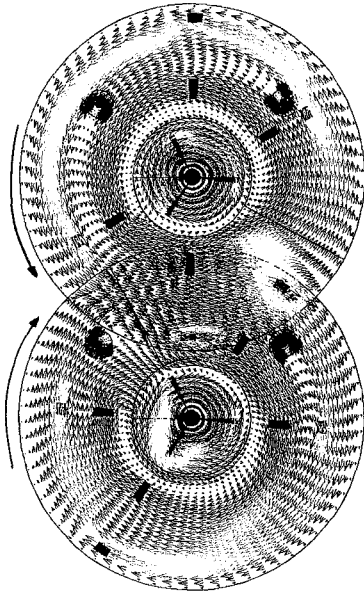


図-2 流速ベクトル図

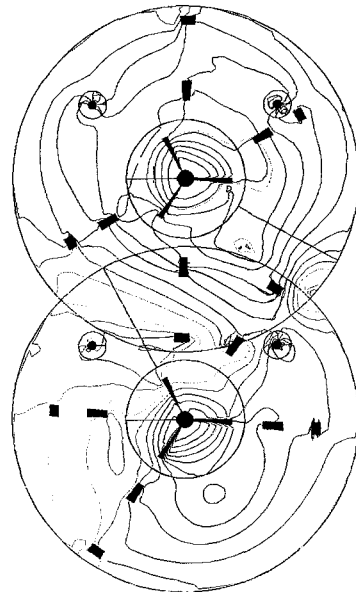


図-3 動圧コンター図

3. 結果と考察

本研究では、横二連形シールドと縦二連形シールドの二種類のシールドマシンを想定し、横型については、排土口が2ヶ所と1ヶ所の場合、縦型については、最下部にのみに排土口を設けた場合の3ケースの解析を行った。解析結果については、ここでは、縦二連形シールドについてのみ示した。

図-2は、チャンバ中央部付近の垂直断面内での流速ベクトル図である。攪拌翼に注目してみると、カッターと共に回転する攪拌翼は、土砂をかきあげる役割を果たすために、チャンバ内部で流速が速くなり、十分に土砂の流動を促進する効果があると言える。一方、隔壁部に固定した攪拌翼では、攪拌翼を通過直後に、流速が急激に遅くなっているが、もともと固定側の攪拌翼は、回転側のものとはその性質が異なり、反対方向への攪拌を促進することで全体の攪拌効率を相対的に上げることを目的に設けられたものであり、このことを考慮すると、土砂は十分に攪拌されていると想定される。また、今回の解析では、3枚羽根のアジテータをモデル化したので、比較的流動しにくかった中心部付近の土砂もこの結果を見るかぎりでは、非常によく攪拌・流動されていることが分かる。しかし、アジテータブロックと外側のブロックとの境界部付近に流速をほとんど持たないような状態のところができ、中心部分の土砂と外側部分の土砂が混合しあうような状況は、あまり期待できないようである。次に、シールドマシン中央部の土砂の合流部分についてであるが、ここでは、上部からの土砂は、下側に押しつけられ、下部からの土砂は、上側に押し上げられるような挙動となっており、合流部での流速は、それらの土砂の相互の影響を受けて、やや遅くなっている。また、図-3に示した動圧によるコンター図を見てみると、合流した土砂が、二つの円の接合部にぶつかるところで、非常に高い動圧力を発生している。これは、図示した回転モード位置で回転側の攪拌翼が接合部付近にあったために流速が増加し、それに伴って動圧も集中的に高まったためと考えられる。

4. まとめ

今回の解析で、二連形シールドのチャンバ内の土砂の流動特性を数値的にシミュレートすることができた。今後の課題として、模型実験などを行って、数値解析との整合性について検証し、実際のシールドマシンの設計に適用できるものとしたい。