

III-702

大型泥水式シールドチャンバ内の流動解析

日立造船(株) 技術研究所 正会員 柳 浩敏
 日立造船(株) 技術研究所 東 恵美子
 日立造船(株) 建機設計部 平田 昌三

1. はじめに

泥水シールド掘進機は最近ますます大型化する傾向にある。機械が大型化すると、カットチャンバ内の泥水の入口と出口の距離が長くなる。また、カット周速度をあまり大きくできないため回転数が相対的に遅くなり、カットチャンバ中央部に泥水の動きにくい領域ができやすくなる。このため大型シールドでは、チャンバ内にとりこまれた土砂のスムーズな排出ができにくくなり、場合によっては閉塞することもあり、工事施工上問題となっている。

土砂閉塞現象は、チャンバ内で泥水濃度が局所的に高くなり、流体の流れが遅い領域で、掘削土砂が付着・推積することで発生すると考えられる。したがって、チャンバ内で局所的に泥水濃度が高くならないようにすること、いいかえると、局所的な低速領域を作らないようにすることが閉塞現象回避にとって重要となる。本報ではシールドチャンバ内の泥水流れの解析手法を提案し、その手法を用いてチャンバの構造と流動状態の関係を把握し、チャンバ中心部において閉塞しにくい条件を検討したのでその概要を報告する。

2. 解析手法

チャンバ内の泥水は高粘度で速度勾配により粘性係数が変化する非ニュートン流体である。流体運動の支配方程式としては質量保存則、運動量の保存則を考える。また、取り扱う流体は非ニュートン流体なので粘性モデルを用いる必要がある。さらに、流動の特徴を把握しやすくするためチャンバ内の濃度変化も同時に解析することにした。これらの基礎方程式を(1)式～(4)式に示す。

<質量保存則>

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad - (1)$$

<運動量保存則>

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} - g_i \quad - (2)$$

<粘度モデル(Carreauモデル 1972)>

$$\frac{\nu_0 - \nu_1}{\nu_0 - \nu_1} = \{ 1 + \lambda^2 | \pi |^{2(n+1)/n} \}^{-n} \quad - (3)$$

<拡散物質保存則>

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u_j C}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_j} D \frac{\partial C}{\partial x_j} \quad - (4)$$

ここで、 x_i : 位置座標、 u_i : x_i 方向の流体速度

t : 時間、 ρ : 流体密度

p : 流体の圧力、 ν : 動粘性係数

g_i : 加速度、 C : 拡散物質の濃度

D : 拡散係数、

$\nu_0, \nu_1, \lambda, \pi, n$: 物質定数 である。

上記の支配方程式を差分法の一つである有限体積法を用いて離散化し、数値解析により解いた。なお、本解析に使用したプログラムは汎用流体解析コードSTREAM（株ワトウェア クレイドル製）に、非ニュートン流体解析、回転体考慮の計算部分を追加したものである。

3. チャンバ内流動の考察

シールドチャンバの主な構成要素は、カット壁面、隔壁面、送泥管、排泥管、ステア、アジテータである。今回は図1に示すような3種類の構造モデルと、2種類の送泥タイプをそれぞれ組み合わせたモデルにつ

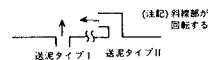
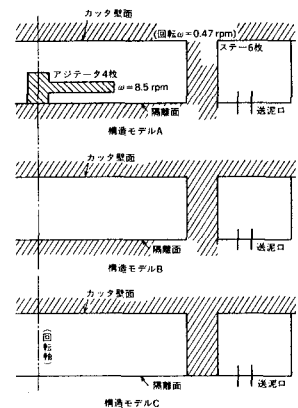


図1. チャンバ流動解析モデル

い解析検討することとした。ここで構造モデルAはカット面と中央部の隔壁面がステーで結合され、同方向に同回転数で回転し、さらにチャンバ内部にカット面と同方向で約2倍の回転数で回転するアジテータを装備したモデルである。モデルBはモデルAからアジテータを取り外したモデルであり、カット面と中央部の隔壁面が回転する。モデルCはカット面とその支持部だけが回転し、隔壁面は静止したモデルである。また、送泥タイプⅠは隔壁面からカット壁面に向かって垂直に送泥するタイプを示し、送泥タイプⅡはチャンバ内で送泥管の送泥方向をチャンバの回転軸の方向へ向けたタイプである。構造モデルAの送泥タイプⅠの解析結果を図2に示す。図はカット壁面と隔壁面の速度ベクトル線図と濃度分布を示す。解析のフローパターンを概説すると、送泥管から流入した流体はカット面に衝突し一旦円周上に広がるが、カット面が回転しているため徐々に回転方向に引きずられるように旋回する。中心部付近にアジテータがあるために大きな旋回速度が生じ、全領域にその影響が生じている。また、送泥管と反対側（180°近辺）に排泥管があり、その周囲では徐々に吸い込まれるような流れになっている。側面から見た流れはカット壁面側では中心に向かう流れになっており、隔壁面側では中心より外側に向かう流れになっている。

図3はチャンバ回転軸上の両壁面間の中央部の濃度の時間変化を示す。送泥タイプⅠと比較して送泥タイプⅡは短時間の後に濃度が減少する。即ち、送泥タイプⅡは送泥タイプⅠよりも送泥管からの低濃度の泥

水が短時間で中央部に流れ込むということである。したがって中央部の土砂閉塞対策として送泥タイプⅡが圧倒的に効果があることがわかる。また、送泥タイプⅡについてアジテータの有無の比較をすると、濃度減少の割合はアジテータが無いほうが有るものより大きい。アジテータがある場合は前述のフローパターンの考察から明らかなように、中央部での速度がアジテータがない場合よりも大きくなるので、この領域での攪拌作用が強く、その結果として濃度が平均化される。これに対しアジテータが無い場合、中央部での速度が小さいため中央部の攪拌作用が少なく、中央部のみ濃度が減少しやすくなっているものと考えられる。解析と同様のモデル実験した結果、図4のような濃度変化となる。実験と解析との厳密な比較はできていないが、構成要素の影響等は本解析において定性的に一致していた。

4. まとめ

シールドチャンバ内の閉塞現象を解明するため、非ニュートン流体を対象とした解析手法を提案した。さらに、この手法を使用し、主要構成因子をパラメータに流動解析を実施し、流れに対する各因子の影響を把握することができた。この結果は、大型泥水シールド掘進機チャンバ形状計画に有効であると考えられる。今後、実験との詳細な比較により本解析手法の妥当性をさらに確認したい。また、三連MFシールドなどへの適用拡大をはかっていく予定である。

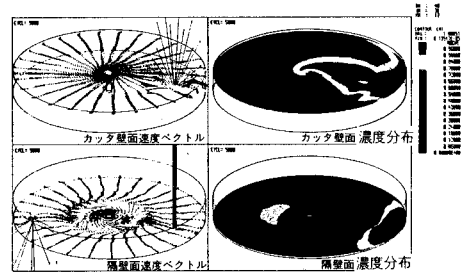


図2. 構造モデルA—送泥タイプⅠ

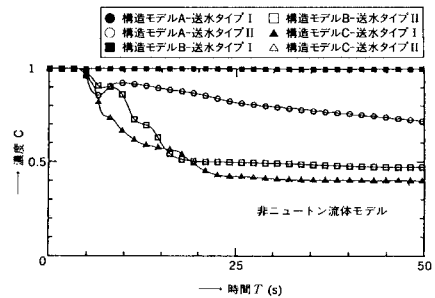


図3. チャンバ中央面の濃度の時間変化

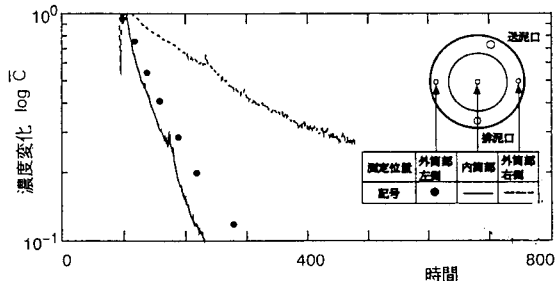


図4. チャンバ内濃度変化（実験結果）