

## 大規模並列化 SPH 摩擦モデルによる摩耗凝着シミュレーション

### Seizure simulation using a large parallelized SPH friction model

鹿児島高専（学）石原 大嵩 兵庫県大（正）鷲津 仁志

鹿児島高専（正）杉村 奈都子

Hirotaka Ishihara\*, Hitoshi Washizu\*\*, Natsuko Sugimura\*

\*National Institute of Technology, Kagoshima College, \*\*University of Hyogo

#### 1. 背景

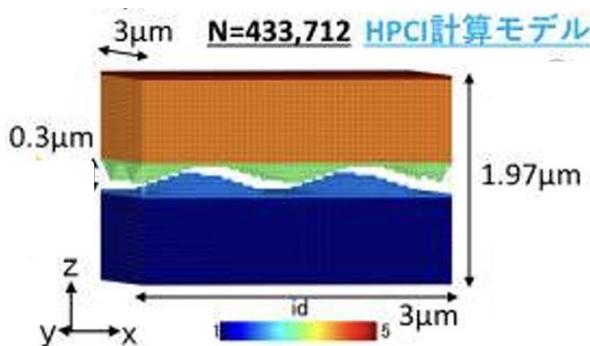
焼付きのメカニズムを解明するため、これまでにシミュレーションを用いて研究を行い、特に凝着の再現に焦点を当ててきた。せん断を加えることで凝着を発生させる手法を用い、その挙動を解析してきた。主な内容としては、高速および低速のせん断条件下でシミュレーションを実施し、それぞれの条件での凝着の発生を評価した。その結果、高速せん断では凝着の発生が確認できたものの、接触時の衝撃によりモデル上部がずれてしまい、複数回の安定した再現が困難であった。一方、低速せん断では、接触時の衝撃が小さく複数回の凝着が確認でき、より詳細な解析が可能であると考えられる。

これらの結果を踏まえ、本研究では低速せん断条件における凝着現象の詳細な解析を行い、その発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。特に、荷重と凝着挙動の関係に着目し、粒子シミュレーションを用いて定量的な評価を行う。得られた知見は、焼付き防止のための材料設計や摩擦制御技術の発展に寄与することが期待される。

#### 2. 実験方法

Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いた計算機シミュレーションを行う。現在、大規模並列化 SPH 摩擦シミュレーターの開発が進められている。<sup>[1]</sup>本研究では、ドライ摩擦領域における凝着摩耗の発生過程とその条件を明確にすることを目的として、従来よりも長時間のせん断シミュレーションを試みた。計算機はテスト計算などの小規模なものには鹿児島高専計算機 (kc-ml) を、大規模な計算には大阪大学のスーパーコンピューター SQUID を用いる。実験の方法としては、下記の計算モデルの上部に定速のせん断引張りの計算機シミュレーションを行う。将来的には実際の実験結果との比較を行う。今回の計算機シミュレーションで並列化を行う際に用いたものは Framework for Developing Particle Simulator (以下、FDPS) である。<sup>[2]</sup>FDPS は大規模並列化多体相関シミュレーションプログラムの開発フレームワークで、MPI や OpenMP を用いた並列化のコーディングを簡便化する。Fig. 1 にはシミュレーションで使用した初期モデルとそのサイズを示す。Table. 1 には計算の初期条件や物性値を示す。

Table.1 initial conditions



粒子数	433712
x 方向の速度	2m/s
ヤング率	69GPa
降伏応力	25MPa
鉛直荷重	1N

Fig.1 System size

### 3. 実験結果

行ったシミュレーションを下記に示す。

- (1) せん断速度を高速(50m/s,100m/s,200m/s) でのモデル上部に荷重(1N,10N)をかけた試験
- (2) せん断速度を高速(50m/s,100m/s,200m/s) でのモデル上部に初速度(10m/s)をかけた試験
- (3) せん断速度を低速(20m/s)での試験 (CFL 条件変更)
- (4) せん断速度を低速(2m/s)で荷重を変更して (0N, 0.1N, 0.5N, 1N) の試験 (CFL 条件変更)

また、シミュレーションによって得られた物理時間あたりの接触面の平均温度についてのグラフを下記に示す。

Fig.2 に(1)の結果を示しており、Fig. 3 に(3)の結果を示している。

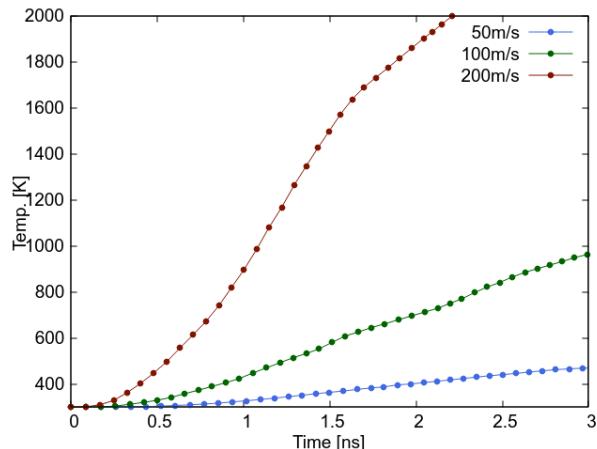


Fig.2 Calculation Results (Test1)

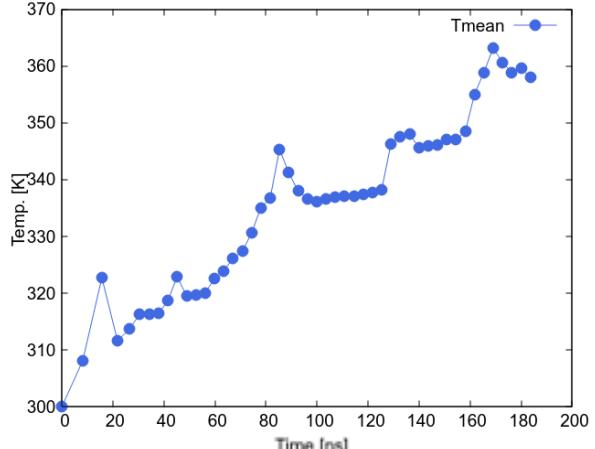


Fig.3 Calculation Results (Test3)

(1) では、せん断速度の増加に伴い、接触面の平均温度が上昇することが確認された。この傾向は 1N および 10N の荷重条件の両方で観察された。しかし、1N と 10N の場合での温度差はそれほど大きくなかった。(2) でも、せん断速度の増加に伴い、接触面の平均温度が上昇することが確認された。(3) では、モデルの突起が複数回接触することが確認され、グラフからも接触のたびに接触面の平均温度が上昇することが示された。(4) では、荷重を増加させることに凝着が長く維持されることが確認された。

### 4. 考察

(1) において、1N と 10N の荷重条件下で接触面の平均温度に大きな差が見られなかった理由として、最初の接触時に生じた衝撃によってモデル上部が上方向にずれ、その後の接触が適切に行われなかったことが考えられる。これにより、荷重の影響が十分に反映されず、1N と 10N の条件で平均温度に大きな違いが生じなかつたと推察される。この結果を踏まえ、(2) では、モデルの抑え込み力を荷重ではなく初速度によって与える方法を採用し、シミュレーションを実施した。初速度を付与することで、モデルの動的な挙動に変化が生じる可能性を検討したが、このシミュレーションにおいても、最初の接触時にモデル上部が上方向にずれる現象が確認された。(1) および (2) の結果より、モデル上部がずれる主な要因は、せん断速度が速いために接触時の衝突が強くなり、その衝撃によってモデルが大きく移動してしまうことであると考えた。そこで、(3) では、せん断速度を低減し、シミュレーション時間を延長するために、時間刻みを決定する CFL 条件を変更し、再度シミュレーションを実施した。その結果、モデル上部のずれが抑えられ、複数回の接触が確認された。さらに、(4) では、荷重を増加させることで、凝着の持続時間にどのような影響があるかを調査した。その結果、荷重を増加させるほど凝着が長く維持されることが確認された。このことから、荷重がモデルの抑え込み力として機能していると考えられる。

今後の予定としては、時間刻みをさらに小さくし、より正確な温度の計算が可能なシミュレーションを行う予定である。

### 5. 文献

- [1] N.Sugimura, L.V.Sang, Y.Mihara, H.Washizu “Mesoscale smoothed particle hydrodynamics simulation of seizure and flash temperature for dry friction of elastoplastic solids in a newly developed model”, Journal of Computational Science, Volume 82, October 2024, 102325
- [2] M. Iwasawa, A. Tanikawa, N. Hosono, K. Nitadori, T. Muranushi, J. Makino, “Implementation and performance of FDPS: a framework for developing parallel particlesimulation codes”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 68, pp54 1 - 54-22(2016)