

大規模並列化 SPH 摩擦モデルによる長時間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（学）藤田 晃徳 兵庫県大（正）鷲津 仁志
鹿児島高専（正）杉村 奈都子

Hiroataka Ishihara*, Akinori Fujita**, Hitoshi Washizu** Natsuko Sugimura*

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

1. 背景

現在、焼付きの発生を抑えるために、油の粘弾性、金属表面の化学的修飾、表面形状（テクスチャ）、金属表面と油や摩耗粉との相互作用などの改良が行われており、長寿命で低摩擦の実現が報告されている。しかし、これらの改良が摺動時に金属表面で起こる摩耗、なじみ、凝着、発熱、焼き付きの進行や度合にどのように影響を与えるのか、つまり、なぜ摩擦が低減できたのかという仕組みは、体系的には説明されていない。焼付きが発生する過程において、摩擦表面の温度変化や「スカuffing」と呼ばれる表面損傷を調査することが不可欠であると指摘されるが、これらの現象は動的観測が困難であり、界面の閃光温度などもほぼ観測不可能である。^[1]そこで期待されているのが計算機シミュレーションである。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。^[2]今回、ドライ摩擦領域において凝着摩耗が生じる過程とその条件を明確にする目的で、本シミュレーターを用いてこれまで以上に長いせん断時間のシミュレーションを試みた。メソスケールにおける凝着持続の条件を分析するとともに、長時間せん断計算実現のための工夫を紹介する。

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。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。鉛直荷重、せん断速度、材料の物性値、計算モデルの突起の形状等を適宜変更してシミュレーションを繰り返す。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。^[3]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 は実験で使用した初期モデルとサイズ、Table. 1 は計算の初期条件を示している。

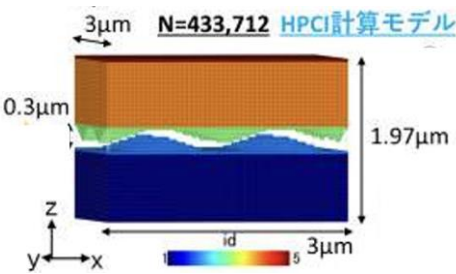


Fig.1 System size

Table.1 initial conditions

粒子数	433712
x 方向の速度	42m/ s
z 方向の初速度	10m/ s
ヤング率	69MPa
降伏応力	25MPa
鉛直荷重	1N

3. 実験結果

行った実験の条件について下記の表に示す。変更した条件としては、鉛直荷重、せん断速度、モデル上部の鉛直下向きへの初速度である。

Table 2 Calculation conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9
Load, N	1	1	1	10	10	10	0	0	0
Sliding speed, m/s	50	100	200	50	100	200	50	100	200
Velocity m/s	0	0	0	0	0	0	10	10	10

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（Test 1 Test 2 Test 3）を示しており、Fig.3 に（Test 7 Test 8 Test 9）を示している。また、Test1 のシミュレーション全体の平均温度を Fig.4 に示す。

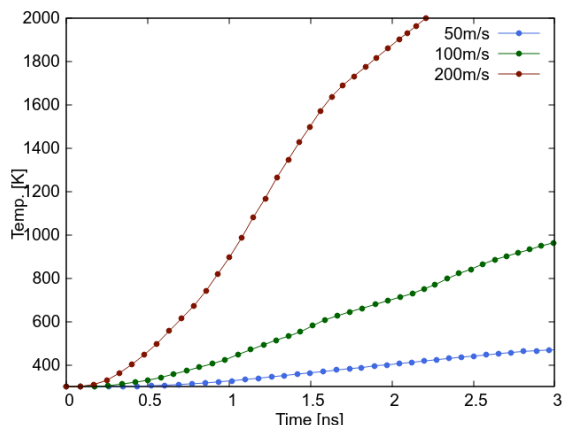


Fig.2 Calculation Results (Test1, 2, 3)

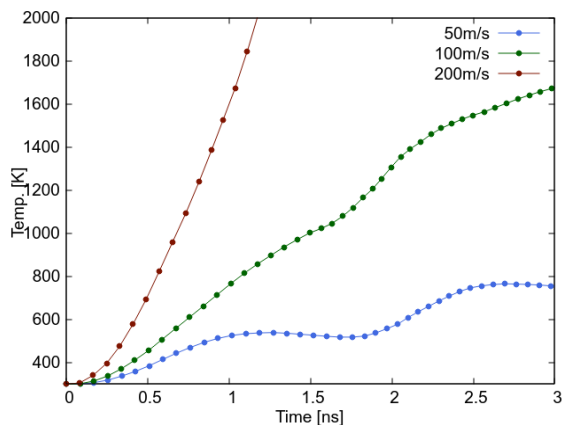


Fig.3 Calculation Results (Test7, 8, 9)

4. 考察

結果の Fig. 2 よりせん断速度の増加に伴い、平均温度が大きくなることが確認できた。また、鉛直荷重 10N（Test4, 5, 6）を加えた場合でも同じような結果が得られた。この2つの実験では鉛直荷重 1N と 10N の比較を行ったが、温度に大きな違いはなかった。その理由として、摩擦面が接触後に衝撃によって離れてしまい荷重の影響を受けづらくなったためだと考えられる。また、モデルの上部に鉛直荷重ではなく初速度を与えた場合でもせん断速度の増加に伴い、平均温度が大きくなっていることが Fig. 3 から確認できた。モデルの上部を押さえる目的で鉛直荷重と初速度を与えたが、初速度を与えた場合の方が平均温度に与える影響が大きかった。Fig. 4 より、接触してから凝着摩擦するまで温度上昇が確認でき、接触面が離れてからは、温度上昇しなくなることが確認できた。これは Test1

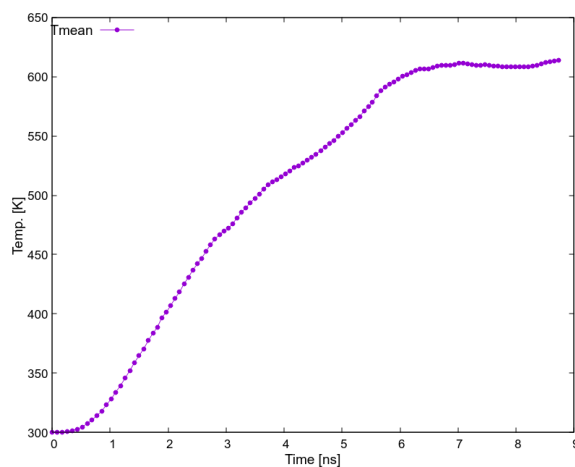


Fig.4 Calculation Results (Test1)

だけで

摩擦後に凝着が長く持続する様子を再現するために step 荷重負荷試験を行う予定である。

5. 文献

- [1] 松崎康男, “鋼の焼付き過程における塑性流動と金属組織変化に関する研究” Kyushu University, 2018
- [2] 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
- [3] 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)