

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 陶 宇

本研究は、列車安全のための粒子法による雪の計算手法に関する研究であり、7章より構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、及び本研究の構成が述べられている。日本および中国において高速鉄道網が着実に広がっており、旅客輸送への貢献がますます増大してきている。しかしながら、高速鉄道網の多くの地域では降雪があり、雪に対する高速鉄道の安全性が重要である。そこで本研究の目的は、粒子法の1つであるMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法における雪の計算モデルを開発し、検証と妥当性確認を行い、列車安全の問題に対して実証することとしている。

第2章では、これまでに研究されている雪の計算モデルについてまとめられている。静的な特性として、密度に対する引っ張り強度や破壊強度の測定が行われている。動的な特性として粘性が測定されている。一方、計算モデルとしては、粉体として扱うものと流体として扱うものがある。流体として扱うモデルには、ニュートン流体モデル、クロス流体モデル、ビンガム流体モデルがある。

第3章では本研究で用いる計算手法について説明されている。雪の動的なモデルとして小田の研究に基づいたビンガム流体を採用するとしている。流体の計算手法にはMPS法を用いる。支配方程式は連続の式とナビエ-ストークス方程式であるが、粘性は定数ではなく変数とし、各MPS粒子において速度勾配テンソルの関数として与える。また、数値的安定性のため、粘性には最大値を設定する。壁境界条件として本研究ではミラー粒子を用いる。すなわち、各流体粒子に対して壁をはさんだ鏡像の位置にミラー粒子を発生させ、そのミラー粒子の速度を境界条件として与える。

第4章はビンガム雪モデルの検証である。 x - y 2次元の平行平板間流路において、初期に静止している流体を一定の加速度で加速する計算を行う。ビンガム流体では解析解が得られないため、比較対象の解として1次元差分法の計算結果を用いる。いくつかの時刻における速度分布、せん断速度分布、及び動粘性係数分布についてMPS法による計算結果と差分法による解を比較したところ、良い一致が得られ、ビンガム雪モデルが適切に計算されていることが示されたとしている。

第5章は妥当性確認であり、Dent and Langの実験、及び小田の実験に対する計算が行われている。Dent and Langの実験では、底面がfree-slipの領域で移動してきた雪塊が、no-slipの領域に入るところでの速度分布が得られている。実験と良く一致する計

算結果が得られている。小田の実験では雪塊を斜面に落下させ、斜面を滑り降りた雪塊の斜面端部で荷重の時間変化が計測されている。雪塊の重量として4種類の実験が行われており、それらについて計算し、荷重の時間変化が実験結果と比較された。十分時間が経過した後の定常状態となった荷重は、4種類のいずれについても計算結果の方が実験結果よりも高くなった。これは、実験では雪塊の一部が斜面上に残ったり、荷重の測定装置の横の隙間等から漏れ出てしまったためであると考えられる。また、計算結果においては実験では見られない荷重のピークが生じたが、これは雪塊が斜面端部に衝突する際に発生したものである。一方、実験では荷重計測の時間解像度があまり高くないと考えられ、荷重のピークが捕らえられていない可能性が高い。以上の妥当性確認により、本計算モデルが実験をある程度定量的に再現できることが示され、計算と実験の違いについては合理的に説明できている。

第6章は実証計算である。高速列車が雪塊に衝突する際の先端部での荷重、およびパリス検知器への荷重について、本ビンガム雪モデルを用いた3次元計算を行った。高速列車先端部の荷重では、ニュートン流体とビンガム流体で比較したところ、ビンガム流体の方が荷重の積分値が明らかに大きくなり、雪を非ニュートン流体として扱うことは列車安全のためには重要であることが示された。ただし、列車が雪塊に衝突する際に生じる荷重の直接的な妥当性確認については今後の課題である。

第7章は結論であり、本研究の成果および今後の課題がまとめられている。

以上を要するに、本研究は雪をビンガム流体としてモデル化してMPS法に組み込み、粒子法によって雪と列車の衝突を計算できる手法を開発した。そして、検証と妥当性確認によりその有効性を示した。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。