



## 旋回シュートにおけるエロージョンの数値解析と摩耗予測

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2018-05-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 肖, 磊 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15118/00009626">https://doi.org/10.15118/00009626</a>

氏 名 肖 磊(ショウ ライ)

学 位 論 文 題 目 Numerical simulation of erosion and erosive prediction on  
rotating chute  
( 旋回シュートにおけるエロージョンの数値解析と摩耗予測)

論 文 審 査 委 員 主査 教授 清水 一道  
教授 河合 秀樹  
教授 寺本 孝司

## 論文内容の要旨

エロージョンは、主な摩耗機構の一つであり、粉粒体の衝突により材料表面が損傷、除去される現象である。この現象は固気二相流による輸送系でのパイプベンド部や、バルブ等において深刻的な問題となっている。生産効率の向上及びメンテナンス費低減の観点から、耐摩耗材料の開発、余寿命の予測はエンジニアリング上、解決すべき課題である。

エロージョンに関する研究は、実験及び数値解析の2種類に分類されている。実験は直接的な方法に間違いない。しかし、実験には費用や時間がかかる。また、粒子の衝突に伴う材料表面の応力やひずみ等の変形破壊挙動に関する様々なデータを、実験によって取得するのは困難である。従って、数値解析は実験と比べて特有の優位性が示され、既にエロージョンの研究に用いられてきた。特に計算技術がますます発展する現在、数値解析の使用は幅広くなっている。本研究では、エロージョンに関する摩耗メカニズムを解明するため、有限要素法(FEM)、粒子法であるSmoothed Particles Hydrodynamics (SPH)法及び離散要素法(DEM)の3種類の解析方法を適用した。本論文の内容を以下に要約する。

第一章では、研究背景やこれまでの研究を述べると共に、本研究の意義及び目的を述べた。

第二章では、本研究における実験材料および実験設備、実験方法を述べた。

第三章では、球状炭化物鋳鉄(SCI)及び球状黒鉛鋳鉄(FCD)をモデルとし、FEMによる三次元単一粒子衝突解析を進め、衝突角度依存性は、単一粒子の衝突における塑性ひずみと定性的な類似関係であることを明らかにした。

第四章では、軟鋼(SS400)及び球状黒鉛鋳鉄(FDI)を対象とし、FEMによる三次元単一粒子衝突解析を進め、粒子衝突時に材料表面に生じるひずみ及びせん断応力からエロージョンメカニズムを力学的に考察した。

第五章では、三次元衝突モデルをFEMで作成し、被衝突材には5つの粒子を連続的に衝突させた。Johnson-Cookモデル及びsimpleモデルの2つの材料モデルを使用した。2つの解析モデルにより、粒子の連続衝突によるエロージョン現象を再現した。

第六章では、SPH及びFEM法を組合せることで三次元モデルを作成し、鋭形粒子衝突におけるエロージョン現象を力学的に明らかにした。

第七章では、製鉄所の設備である高炉上部の旋回シュートを対象として摩耗予測を行った。旋回シュートの三次元モデルを作成し、旋回シュートにおける鉬石流動をDEM法で作成した。旋回シュートにおいて流動鉬石が衝突する際の応力状態が推定された。

第八章では、本研究の成果及び今後の発展を記述した。

## ABSTRACT

Erosive wear, also called as erosion, is a usual phenomenon for damage or loss on the surface of material impacted by solid particles. It has become one of the biggest problems over components such as pneumatic conveyance or fluid delivery pipelines in many industrial fields, causing risks and economic loss. So erosion has become a research issue attracting wide attentions of many researchers for several decades.

Generally, research studies of erosion can be classified into two types: experiment and numerical simulation. And there is no doubt that experiment is a direct way for erosion researches.

However, experiment is usually cost- and time-consuming, besides, it is impossible to obtain all information during erosion process experimentally, such as stress and plastic strain and so on, so as not to fully uncover the mechanisms of erosion. Therefore, numerical simulation exhibits its incomparable advantages over experiment, and has become more and more utilized with the development of computational technology. The work of this thesis conducted several problems about erosion using numerical simulation. The simulation involved in this thesis includes three kinds of numerical method: Finite Element Method (FEM), Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) and Discrete Element Method (DEM). The main contents of this thesis are summarized as follows:

In chapter 1, research background and literature reviews for previous researches are introduced.

In chapter 2, experiments for this thesis are described.

In chapter 3, 3D FE models for spheroidal carbide cast iron (SCI) and spheroidal graphite cast iron (FCD) were built. The impact angle dependences of erosion on these two materials were verified using analytical results from view point of stress and equivalent plastic strain.

In chapter 4, 3D FE models for mild steel (SS400) and spheroidal graphite cast iron (FDI) were built. The mechanisms of these two materials were explained with a combined consideration of plastic strain and shear stress on material surface.

In chapter 5, 3D FE models for mild steel of 5 spherical particles impact were built. Two different material models, named as Johnson-Cook material model and simple material model, were applied into target material respectively. The differences of erosion performances under these two different material models were compared and discussed.

In chapter 6, numerical models of angular particles impact were built using a coupled algorithm of SPH-FEM. Impact process of angular particles on mild steel were investigated.

In chapter 7, a predictive method for erosion on rotating chute is proposed using a coupled simulation of DEM and FEM.

In chapter 8, a general conclusion of this thesis and prospects for future work are given.

## 論文審査結果の要旨

エロージョンとは、主な摩耗機構の一つであり、粉粒体の衝突により材料表面が損傷、除去される現象である。この現象は固気二相流による輸送系でのパイプベンド部や、バルブ等において深刻な問題となっている。生産効率の向上及びメンテナンス費低減の観点から、耐摩耗材料の開発、余寿命の予測はエンジニアリング上、解決すべき課題である。

エロージョンに関する研究は、実験及び数値解析の 2 種類に分類されており、実験を用いた研究が直接的な方法に相違ないことは明確である。しかし、実験には費用や時間がかかる上、粒子の衝突に伴う材料表面の応力やひずみ等の変形破壊挙動に関する様々なデータを実験によって取得することは困難である。他方、数値解析による研究は実験と比較して特有の優位性が示され、数値解析の使用が幅広くなっている昨今、既にエロージョンの研究にも用いられている。本研究では、エロージョンに関する摩耗メカニズムを解明するため、有限

要素法(FEM), 粒子法である Smoothed Particles Hydrodynamics(SPH)法及び離散要素法(DEM)の3種類の解析方法を適用した結果について報告するものである。

衝突角度依存性について, 球状炭化物鑄鉄(SCI)及び球状黒鉛鑄鉄(FCD)をモデルとし, FEM による三次元単一粒子衝突解析を進めた結果, 単一粒子の衝突における塑性ひずみと定性的な類似関係にあることを明らかにした。また, 軟鋼(SS400)及び球状黒鉛鑄鉄(FDI)を対象とした FEM による衝突解析を進めた結果, 粒子衝突時に材料表面に生じるひずみ及びせん断応力から力学的にエロージョンメカニズムを考察することが可能となった。更に, FEM で三次元衝突モデルを作成し, Johnson-Cook モデル及び simple モデルという2つの材料モデルを使用して5つの粒子を連続的に衝突させ, エロージョン現象を再現した。次に, SPH 及び FEM 法を組み合わせることで三次元モデルを作成し, 鋭形粒子衝突におけるエロージョン現象を力学的に明らかにした。また, 製鉄所内の高炉上部の旋回シュートを対象とした摩耗予測の解析では, 旋回シュートの三次元モデルを作成し, 更に鉍石流動を DEM 法で作成, 旋回シュートにおいて流動鉍石が衝突する際の応力状態を推定することが可能となった。

本研究では, エロージョンに関するあらゆる摩耗メカニズムが効率的に検証され, かつ実験では成し得ない解析結果が証明された, 本研究の大変興味深い結果により, 鉄鋼業の多い室蘭地域において, 今後の用途検討や課題等を踏まえてこれからの活用が十分期待される。このため, 審査員の合議により本論文は学位に値するものと判断した。