

論文の内容の要旨

1 申請者

防衛大学校 福井 拓哉

2 論文題目

研削盤砥石カバーの衝突安全性に関する研究

3 論文の内容の要旨（博士:2,000字程度）

我が国における業種別労働災害の死傷者数は製造業が最も多く、中でも工作機械の労働災害防止は特に重要である。機械類の安全に関しては、ISO 国際規格において隔離による防護と停止による防護が示されており、工作機械においても安全機構として覆いや非常停止ボタンが備えられている。このうち停止による防護はあくまで副次的なものとされ、直接労働災害の原因となりうるエネルギー源を遮断する覆いによる隔離が主な安全対策となる。工作機械の覆いによる防護の主な役割として、工具や工作物といった放出部品の遮断があるが、中でも研削砥石は特に放出・飛散リスクの高いものである。これは、研削砥石が不定形の鉍物質である砥粒を結合剤で固めて成形した脆性・多気孔な多刃工具であり、加工中に適度な砥粒の脱落や自生作用を生じさせることで切れ味を維持するため、元々ある程度の破壊が生じるよう設計されていることに起因する。研削砥石の破壊および飛散リスクが一般的な切削工具や工作物に比べて高いことは従来から問題視されており、特に通常使用の延長において生じ得る遠心力破壊の予防については、国内規格である研削盤等構造規格の制定と前後して活発な研究が行われてきた。一方、砥石内部に潜在する内部欠陥や取り付け時の不具合、あるいは作業者の操作ミス等に起因した不意の飛散に対する防護策、すなわち研削盤の覆いである砥石カバーによる封じ込めについてはこれまで詳細な検討がなされていない。

現行の研削盤の安全性に関する国際規格 ISO 16089 は砥石片飛散時の最大並進エネルギーに基づき、砥石カバーの板厚を規定している。しかし、砥石カバー板厚と最大並進エネルギーの関係式は ISO 16089 の基礎となった欧州規格の制定時にドイツ、イギリスおよびフランスの旧規格を参考に設定されたものであり、実験的な裏付けを持つものではない。また、規格内の試験方法も金属から成る工具や工作物を主な放出部品と想定する旋盤等の工作機械の覆いに関する研究を基礎としており、焼入れ鋼製飛翔体が採用されている。さらに、砥石カバーには圧延鋼板の他、鉄系ではあるが性質が異なる鋳鋼、鋳鉄およびステンレス鋼板やアルミ合金系までさまざまな金属材料が規定されている一方、機械的性質が衝突安全性に及ぼす影響は十分な考慮がされておらず、砥石カバーの衝突現象が明らかにされているとはいえない。

本論文では、研削盤砥石カバーについて、その衝突現象を明らかにすることを目的とし、

一般砥石製飛翔体による衝突実験および解析を行った。この際、カバー材を破断する際の飛翔体衝突エネルギーを貫通境界エネルギー、その最小値を最小破断エネルギーとし、安全評価の基準とした。

カバー材の機械的性質の影響に関しては、円柱形砥石製飛翔体の衝突実験結果からカバー材の塑性変形に着目し、特に金属製カバー材の塑性変形場が降伏比に依存し、降伏応力、引張強さ、伸びといった個々のパラメータに関わらず概ね決定されることを、有限要素法解析および曲げモーメント比に関する考察から明らかにした。さらに、金属製カバー材の貫通境界エネルギーが材料の最大塑性仕事量にあたる応力-ひずみ線図の積分値である全塑性仕事に比例し、塑性変形場のパラメータである降伏比に反比例することを明らかにし、円柱形飛翔体の衝突安全性実験式を導出した。

飛翔体衝突における砥石破壊の影響に関しては、衝突安全性の予測においては衝突による損傷後の飛翔体直径が重要であり、砥石製飛翔体の圧縮強度は損傷量を介して間接的に作用するパラメータであることを明らかにした。また、円錐形飛翔体の衝突においては圧縮強度と損傷直径の関係、および損傷直径と最小破断エネルギーの関係を検討し、任意の圧縮強度を有する砥石に適用可能な衝突安全性実験式を導出した。

既存の一般的な手法では解析が困難であった砥石の破壊を伴う衝突解析に関しては、破断条件に至った有限要素法のソリッド要素を粒子法の SPH 粒子に置き換えて解析を行う Solid to SPH を用いた解析手法を提案した。この際、研削砥石の特徴である砥粒の粒径、粒度および結合剤や気孔の割合といった要素を粒子法のスムージング長に落とし込み、ソリッド要素を破壊前の砥石、SPH 粒子を砥石破壊後に細粉した砥粒・結合剤と捉えることで、研削砥石の特徴的な破壊挙動を解析的に再現可能であることを明らかにした。

以上、本論文では研削盤砥石カバーの衝突安全性について、多様なカバー材に対応可能な重要指標としてカバー材の塑性変形場と降伏比の関係を明らかにし、これに脆性材料である研削砥石の破壊を加味した衝突安全性実験式を提案した。また、砥石衝突を定性的かつ定量的に再現可能な砥石破壊解析手法を新たに提案し、実験と解析相互に妥当性を確認した。これにより、研削盤砥石カバー衝突安全性の予測方法として実験式および解析手法の2つの手段を確立した。

4 キーワード（5 個程度）

「研削盤」、 「研削砥石」、 「砥石カバー」、 「衝突安全性」、 「労働災害」