

第40号

平成30年10月1日

# 博士學位論文

内容の要旨及び審査結果の要旨

(平成30年度 前学期授与分)

金沢工業大学



## 目 次

### ◇博士

(学位記番号) (学位の種類) (氏名) (論文題目)

博甲 第 115 号 博士(工学) 清水 駿矢 自動車用衝撃吸収構造の設計効率化・・・1

## は し が き

本誌は、学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第 8 条の規定による公表を目的として、本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

氏名	しみず しゅんや 清水 駿矢			
学位の種類	博士（工学）			
学位記番号	博甲 第115号			
学位授与の日付	平成30年9月7日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項相当			
学位論文の題目	自動車用衝撃吸収構造の設計効率化			
論文審査委員	(主査) 教授	山部 昌	教授	長沼 要
		教授 瀬川 明夫	教授	金原 勲
		日本大学		
		教授 高橋 進		

## 論文内容の要旨

自動車衝突時に衝撃吸収性能を発揮する構造としてバンパレインフォースがある。バンパレインフォースはバンパと車体の小さなスペースに収める必要があり、様々な形状パターンが検討されている。従来の設計過程では、形状モデルの作成、有限要素解析に多くの時間を要することから、形状決定までに多くの期間を要していた。そこで本研究では、所望の衝撃吸収挙動が得られる形状パターンの出力が可能な概略設計手法を提案する。本手法は、エネルギー吸収量および寸法条件を入力条件として、車前に構築した予測式を用いることで、無数の組み合わせがある形状パターンの中から代表形状を絞り込むものである。また、従来の設計では十分には検討されなかった衝撃吸収挙動（荷重-変位曲線の時刻歴）を評価項目とした。衝撃吸収挙動に影響を与える要素として、圧潰初期に加わる荷重（以下ピーク荷重）、その後の圧潰で加わる荷重の平均値（以下平均荷重）に着目した。ピーク荷重は大きいほど、乗員に加わる衝撃が大きくなる。しかし、ピーク荷重を低減させるだけでは総エネルギー吸収量が減少する。以上のように、衝撃吸収挙動はピーク荷重と平均荷重によって支配されており、これらに着目することで、所望する衝撃吸収挙動の実現が可能である。ピーク荷重はオイラー則（理論式）やランキン則（実験式）などの座屈式を用いて導出することが可能である。しかし、平均荷重は実験式や理論式が存在しない。また、オイラー則は本研究で対象とする小型の衝撃吸収部材には適用できないこと、ランキン則は複雑な座屈現象を対象にできないことから、荷重の導出方法を検討する必要がある。本研究では新たな手法として、衝突解析によって得られた荷重値とランキン則によって得

られた荷重値を比較することで、荷重導出の予測式を構築する。衝突解析を用いた予測式の構築を行う上で、衝撃吸収部材に対して圧縮試験を行い、衝突解析によって得られた結果と比較することで解析精度を確認した。その結果、実験と衝突解析の結果に同一の傾向が見られ、荷重値も 10%程度の誤差であることが確認された。よって、本研究は衝突解析によって得られた荷重値を用いて予測式の構築を行う。まず、衝撃吸収部材の寸法因子と荷重の関係性を明らかにした。衝撃吸収は軸圧潰と断面圧潰の 2 種類の圧潰形態が存在するため、それぞれについて評価を行った。

軸圧潰衝撃吸収部材に関しては、ランキン則と衝突解析により得られるピーク荷重の比較を行った。その結果、新たな知見としてランキン則と実現象は座屈長の定義が異なり、実現象では全長が変化しても荷重値は一定である（全長は座屈荷重の関数ではない）という知見が得られた。このことから、本研究の条件下であれば、ランキン則を定数（材料条件や拘束条件）と部材の断面を構成する板厚と一辺長さのみに簡略化した形で使用できることが分かった。（本研究内容で論文投稿済み）

平均荷重についてもピーク荷重と同様にランキン則が適用できることを明らかとした。その際、ピーク荷重は板厚と一辺長さの関数として導出したが、平均荷重の場合板厚のみの関数となる。これは、一辺長さが変化することで、座屈回数（座屈長さ）に変化が生じるためである。この点に着目し、本研究ではランキン則を構成する細長さ比という因子に着目することで、これまで推定できなかった座屈回数の推定が可能となった。これによって、従来は数値としての荷重推定であったが、衝撃吸収挙動に着目した荷重推定が可能となる。（本研究内容で論文投稿予定）

断面圧潰衝撃吸収部材に関しては断面形状を構成するリブ部と側面部に分けて考えた。リブ部については、単純な柱と仮定することができるため、本研究の条件下であれば、ランキン則を定数とリブの断面を構成する板厚と押出長さのみに簡略化可能であることが分かった。側面部に関しては、ランキン則は本来直角の部材のみに対応しているが、側面部の角度とピーク荷重は比率で表せることに着目し、ランキン則に今回算出された比率を掛け合わせることで、これまで評価ができなかった角度を有する側面部のピーク荷重を評価することが可能となった。平均荷重については、寸法と荷重の定量的な関係が評価できなかったため、衝突解析によって得られた結果をもとに、重回帰分析を行い予測式の構築、及び影響度の評価を行った。

上記で構築した予測式は単一の部材を対象とするものである。しかし実際の製品は複数の部材を組み合わせた複合形状であるため、バンパレイnfォースを対象とした荷重予測

および改良設計を行った。静的圧縮試験を行い、ビームの圧潰荷重、ステーの圧潰荷重それぞれと予測式によって得られる荷重値を比較することで、予測式の精度の確認、および複数の式を組み合わせて使用することが可能か評価した。その結果、予測式によって得られた荷重値は、実験値と比較して誤差 10%程度であることから、複合形状を対象とする実際の製品設計の現場でも、本研究の予測式は使用可能であるか確認できた。また、前述の評価で対象としたバンパレイnfォースを構成するバンパビームに対して、予測式をもちいて乗員保護を目的とした衝撃吸収挙動が得られる構造への改良設計を行った。なお、目標値は最大荷重 200kN、衝撃吸収挙動を右上がりの直線変化として、この挙動が得られるような形状への改良を行った。その結果、目標とした衝撃吸収挙動と荷重値を改良設計によって達成することができた。この結果から、本研究の予測式を用いることで、新規製品の開発だけでなく既存の製品の改良設計の現場に対しても使用できることがわかった。(本研究内容で論文投稿済み)

## 論文審査の結果の要旨

自動車の衝突時における運転者ならびに歩行者への安全対策は、年々交通事故総数の減少に大きく寄与してきたが、さらに解決すべき課題は山積している。自動車衝突時に衝撃吸収性能を効率よく発揮できる構造の一つとして、バンパレインフォースがある。しかし、バンパレインフォースはバンパと車体との狭いスペースに収める必要があり、そのスペースを効率良く生かした様々な形状パターンが検討されている。ここでの設計過程では、形状モデルの作成、有限要素解析に多くの時間を要することから、形状決定までに長い期間を要していた。そこで清水氏は本研究において、所望の衝撃吸収挙動が得られる形状パターンの出力が、短時間で可能な概略設計手法を提案している。本研究で清水氏は、エネルギー吸収量および寸法条件を入力して、事前に構築した予測式を用いることで、無数の組み合わせがある形状パターンの中から、代表的な形状を絞り込む手法を考案した。さらに、乗員保護の観点より、従来の設計では十分には検討されてこなかった衝撃吸収挙動（荷重-変位曲線の時刻歴）をも評価項目とすることを提案している。すなわち衝撃吸収挙動に影響を与える要素として、氏は圧潰初期に加わる荷重（以下ピーク荷重）、その後の圧潰で加わる荷重の平均値（以下平均荷重）に着目した。ピーク荷重は大きいほど、乗員に加わる衝撃が大きくなるが、ピーク荷重を低減させるだけでは総エネルギー吸収量も減少する。このように、衝撃吸収挙動はピーク荷重と平均荷重によって支配されており、これをバランス良く設計することで、所望する個々の車両に合った衝撃吸収挙動の実現が可能である。従来からピーク荷重はオイラー則（理論式）やランキン則（実験式）などの座屈式を用いて導出することが可能であったが、平均荷重では実験式や理論式が存在しない。また、オイラー則は本研究で対象とする小型の衝撃吸収部材には適用できないこと、ランキン則は複雑な座屈現象を取り扱うことができないことから、荷重の導出方法を新たに検討する必要がある。本研究ではその新たな手法として、数値計算による衝突解析で得られた荷重値と、ランキン則によって得られた荷重値を比較し理論づけすることで、荷重導出の予測式を構築している。すなわち、衝突解析を用いた予測式の構築を行う上で、まずは衝撃吸収部材の圧縮試験を行い、衝突解析によって得られた結果と比較して解析精度を確認した。その結果、実験と衝突解析の結果に同一の傾向が見られ、荷重値も10%程度の誤差であることが確認された。よって、本研究では衝突解析によって得られた荷重値を用いて予測式の構築を行う。そこでまず、衝撃吸収部材の寸法因子と荷重の関係性を明らかにした。衝撃吸収は軸圧潰と断面圧潰の2種類の圧潰形態が存在するため、それぞれについて評価を行った。軸圧潰衝撃吸収部材に関しては、ランキン則と衝突解析により得られるピーク荷



重の比較を行った。その結果、新たな知見としてランキン則と実現象は座屈長の定義が異なり、実現象では全長が変化しても荷重値は一定である（全長は座屈荷重の関数ではない）という知見が得られた。このことから、本研究の条件下であれば、ランキン則を定数（材料条件や拘束条件）と部材の断面を構成する板厚と一辺長さのみに簡略化した形で使用できることが分かった（本研究内容で論文掲載済み）。さらに平均荷重についてもピーク荷重と同様にランキン則が適用できることを明らかとした。その際、ピーク荷重は板厚と一辺長さの関数として導出したが、平均荷重の場合は、板厚のみの関数となる。これは、一辺長さが増加することで、座屈回数（座屈長さ）に変化が生じるためである。氏はこの点ではランキン則を構成する細長さ比という因子に着目することで、これまで推定できなかった座屈回数の推定を可能とした。これによって、従来は単なる座屈挙動として荷重推定であったが、衝撃吸収挙動に着目した荷重推定が可能となった（本研究内容で論文掲載予定）。一方上記で構築した予測式は単一の部材を対象とするものである。しかし実際の製品は複数の部材を組み合わせた複合形状であるため、複数のエネルギー吸収部材を組み合わせた荷重予測および改良設計を行った。まずは静的圧縮試験を行い、ビームの圧潰荷重、ステーの圧潰荷重それぞれと予測式によって得られる荷重値を比較することで、予測式の精度の確認、および複数の式を組み合わせて使用することが可能か評価した。その結果、予測式によって得られた荷重値は、実験値と比較して誤差 10%程度であることから、複合形状を対象とする実際の製品設計の現場でも、本研究の予測式は使用可能であることを確認した（本研究内容で論文投稿済み）。

本論文は 7 章で構成されている。第 1 章では、本研究の背景、ならびに本研究が解決すべき課題とアプローチ方法など、本論文の目的と意義を明確にしている。第 2 章では、本研究を展開していく上での実験方法、数値計算による衝突解析、推定式、予測式の現状のレベルとそれぞれの位置づけについて述べられている。第 3 章では圧潰挙動を表す式としての、オイラー則とランキン則に着目し、それぞれの適用範囲と問題点に関して考察を行っている。第 4 章では軸圧潰吸収部材を対象として、ランキン則と数値衝突解析を比較することで、形状を座屈荷重の関数の評価が可能な予測式の構築を行った。その結果、ランキン則の因子である細長さ比により、座屈回数を推定することができ、そのことにより従来まではできなかったエネルギー吸収量や衝撃吸収挙動の推定が可能となった。第 5 章は断面圧潰吸収部材を対象として、ランキン則と数値衝突解析を評価することにより、形状と座屈荷重の評価が可能な予測式の構築を行った。第 6 章ではここまで構築してきた推定式を持って、実際のバンパシステムの衝撃吸収特性を評価している。その結果、当初

から目指していた設計の効率化が十分に図れることを確認している。第 7 章では本研究の総まとめとして、本研究の工業的意義、工学的な意義について述べられている。これらの研究成果は従来までは多くの時間を費やしていたエネルギー吸収部材の設計過程において、理論、実験、数値衝突解析を関連付けることにより、個々の車体要求特性に合った衝突吸収部材の設計を敏速にかつ精度良く実現できるものであり、設計効率化に大いに寄与したものである。また本学大学院博士課程在学中において、査読あり論文 3 編（掲載予定 1 件含む）、国内発表 3 件が示すように、学協会でも高く評価されている。よって本論文は博士（工学）の学位に十分に値すると判断する。