

氏 名	なか ざわ よし あき 中 澤 嘉 明
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第 3980 号
学位授与の日付	平成 20 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	薄肉多角形部材の塑性座屈挙動に及ぼす形状因子の影響とその最適化

論文調査委員 (主査) 教授 北 條 正 樹 教授 落合庄治郎 教授 宮 崎 則 幸

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、自動車に装着される衝撃吸収用の構造部材を対象として、塑性座屈挙動に及ぼす断面形状因子の影響を定量化することにより、部材質量の低減と衝撃吸収性能の向上を両立させる新たな設計思想を提案し、かつ、その有効性を数値解析ならびに実験により実証したもので、7章からなっている。

第1章は序論であり、自動車を取り巻く社会環境とその軽量化についての要請について示すとともに、自動車に数多く適用されて、かつ、本研究が対象とする衝撃吸収用の構造部材の材料でもある薄鋼板の開発の状況、および、材料の観点からの軽量化に対する取り組みについて示している。また、衝突安全性向上に関する技術の課題をまとめるとともに、塑性座屈変形を用いた衝撃エネルギー吸収機構、および、これを用いた従来技術の限界について示したうえで、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、自動車の衝撃吸収部材への適用を想定した薄肉正多角形部材を対象として、板厚を固定した上で、断面を構成する稜線数、稜線間の平面部幅、稜線部などの断面形状因子が塑性座屈挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、数値解析による検討を行った。その結果、薄肉多角形部材の座屈波長は、平面部幅によって一意的に決定され、平面部幅が小さいほど座屈波長は短くなることを示している。さらに、塑性座屈荷重と塑性座屈挙動の安定性は、稜線部円弧長によって一意的に決定され、円弧長が大きいほど座屈荷重は高く、かつ、塑性座屈挙動が変形後期まで持続することを示し、薄肉多角形部材の塑性座屈挙動制御の基本的な設計指針を得ている。

第3章では、薄肉多角形部材の板厚が塑性座屈挙動に及ぼす影響、および第2章で検討した断面形状因子と板厚との相互作用について明らかにすることを目的に、数値解析による検討を行った。その結果、塑性座屈における荷重履歴は、断面形状因子(稜線数、平面部幅、稜線部円弧長)と板厚の相互作用によって支配されることを示している。また衝撃吸収性能は、平面部幅の板厚に対する比によって一意的に決定されるものの、稜線部の剛性が非常に小さい場合には、稜線部断面積にも依存することを明らかにしている。以上により、優れた衝撃吸収性能を実現するための薄肉多角形部材の基本的な設計技術を完成させている。

第4章では、第2章、第3章で検討した研究結果を発展させ、実車に装着されているクラッシュボックスを対象として、限られた断面の中で平面部幅を適正範囲に制御でき、かつ、座屈荷重を支配する稜線が多数配置可能となる、凹型形状を断面の一部に導入することを提案し、薄肉多角形部材の衝撃吸収性能と設計自由度のさらなる改善を図ることを目的に、数値解析を行った。その結果、断面に凹部を導入することによって、短い座屈波長の塑性座屈挙動が得られることを示している。また本部材は、凹部と凹部以外の部位でお互いの面外変形を拘束しながら異なった位相で座屈変形が進行することを明らかにし、短い座屈波長の変形挙動に加え、さらに衝撃吸収性能を高める上で有効となる特徴的な変形挙動が得られることを明らかにしている。また、凹部形状の設計要件についても定量的に解析し、凹部が導入された薄肉多角形部材の衝撃吸収性能を向上させる最適な断面形状を示している。

第5章では、衝撃吸収性能の他に、クラッシュボックスが要求する初期座屈荷重を所定範囲に制御する設計技術を確立することを目的に、部材先端への切欠き部の導入が塑性座屈挙動に及ぼす影響について、数値解析による検討を行った。その結果、初期座屈荷重は、部材先端部に導入した切欠き部の形状を選択することによって、目的とする荷重を容易に制御できることを示している。また、切欠き部は初期座屈荷重に影響する他に、塑性座屈変形のトリガーとして作用し、座屈変形を容易に発生させることを明らかにしている。さらに、実部材相当の扁平な断面を用い、切欠き部の導入パターンが塑性座屈挙動に及ぼす影響についても評価し、短辺側への切欠き導入が衝撃吸収性能の向上に対して効果的であることを示している。

第6章では、小型車から大型車にまで実際に搭載されているクラッシュボックスの設計要件を用い、前章までの研究成果に基づき衝撃吸収部材を設計するとともに、実際に製作し、実験と数値解析の両面から衝撃吸収性能を検証した。その結果、開発した部材は優れた衝撃吸収性能を有することを示し、本研究で確立した衝撃吸収部材の設計技術の有効性を立証している。また、開発した部材は、断面の大きさによらず、すべて同様の座屈波長の短い塑性座屈変形挙動を示し、本研究で確立した設計技術は、種々の断面にも広く適用可能な優れたものであることを示している。さらに、開発した部材は、材料特性、溶接条件に依存せず、かつ、荷重入力方向が部材に対して斜めの角度を持っている場合でも、安定した塑性座屈挙動を示し、ロバスト性が高いことを立証している。最後に、クラッシュビードが導入された現行品との比較を行い、開発した部材は、現行品に比べ、軽量で高い衝撃吸収性能を有することを確認している。

第7章は結論であり、本研究について得られた成果について要約するとともに、薄鋼板以外の材料ならびに自動車の衝撃吸収用構造部材以外への用途に対する本研究成果の適用の可能性を示している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、自動車に装着される衝撃吸収用の構造部材を対象として、CO<sub>2</sub>排出量削減に寄与する部材質量の低減とともに、自動車の衝突安全性の向上、すなわち部材の衝撃吸収性能の向上を可能とする新たな設計手法を提案し、かつ、この手法に基づいて開発した部材の有効性を、有限要素法による数値解析と実験の両面から検証した結果についてまとめたものである。得られた主な成果は、以下のとおりである。

1. 薄肉多角形部材の塑性座屈挙動に及ぼす断面形状因子の影響を定量的に明らかにし、断面を構成する稜線間平面部幅が小さくなると、部材の座屈波長が短くなり衝撃吸収性能が向上すること、座屈荷重ならびに進行性座屈の安定化のためには、稜線部の円弧長の設計が重要であることを示した。次に、板厚の影響および断面形状因子と板厚の相互作用を明らかにし、優れた衝撃吸収性能を得るための薄肉多角形部材の設計指針を体系化した。
2. 上記設計指針を実際に自動車に装着されている構造部材へ展開するために、断面形状の一部に凹部を有した新しい薄肉多角形部材を提案し、その部材が優れた衝撃吸収性能を有することを立証するとともに、凹部形状の設計要件を明らかにした。
3. 衝突端への切欠き導入が初期座屈荷重の制御を可能とし、さらに塑性座屈変形のトリガーとして作用することを明らかにし、実構造部材設計技術を完成させた。
4. 落錘型衝撃実験と台車式衝撃実験にて、本設計技術を適用した実構造部材が軽量で優れた衝撃吸収性能を有することを確認し、その妥当性を立証した。また、本設計部材と現在自動車に適用されている現行部材の衝撃吸収性能を比較し、本部材が軽量化と衝撃吸収性能の改善に対して有効であることを示した。

以上要するに、本論文は、自動車に装着される衝撃吸収用の構造部材の衝撃吸収性能を向上させる設計手法とその有効性を数値解析および実験により検討することにより、革新的な衝撃吸収用構造部材の設計技術とその部材開発に重要な知見を与えるものであり、得られた成果は、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年12月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。