

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420079

研究課題名(和文) 一体型圧縮膨張衝撃吸収部材を用いた崩壊部位制御荷変BOXの開発

研究課題名(英文) Development of BOX for Collapse Position Control Using Integrated Compressed / Expansion Absorbing member

研究代表者

春山 繁之(haruyama, shigeyuki)

山口大学・技術経営研究科・教授

研究者番号：10416505

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：自動車や重機では衝突や転倒時に乗員を守る代表的な箱型フレームとその補強だけでは、最弱部位で変形が始まるとその部位に集中して崩壊が進展し乗員を守るための空間の確保や目標とする衝撃エネルギーの吸収が困難となる。そこで剛性を保ちつつ変形量や変形荷重を制御することができる軽量で優れた衝撃吸収構造部材を開発するための変形モード制御手法を提案するため、新しい一体構造の圧縮膨張型衝撃エネルギー吸収部材を適切にフレーム構造物に配置し締結することで全体の变形モードを制御し荷重変位が安定変形する崩壊部位制御型フレーム構造を提案しそのメカニズムの把握により製造コストや開発コスト削減が図れる設計技術を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In automobiles and heavy machinery, in a typical box-shaped frame that protects passengers at the time of collision or falling, Just by reinforcing it, when the deformation starts at the weakest part, the collapse progresses concentrating on that part. Therefore, it is possible to control the deformation amount and deformation load while maintaining rigidity, in order to propose a solution method relating to deformation mode control for developing a lightweight and Excellent shock absorbing structural member, to properly arranging and fasten the impact of absorbing member different from the conventional shock absorbing member system on the frame structure. As a result, the entire deformation mode is controlled and the load displacement is Deformed stably, Proposed disintegration site controlled frame structure, We have developed a design technology that can reduce manufacturing cost and development cost.

研究分野：工学

キーワード：衝撃吸収部材 変形モード 箱型フレーム 崩壊部位制御

1. 研究開始当初の背景

現在の自動車や重機業界では、環境対策としての規格を満足するため車両重量の軽減化、乗員安全性の向上のための剛性強化という相反する問題を同時に解決するため、衝撃吸収性能の向上や、乗員生存空間確保のためのフレームの変形量、荷重の大きさおよび衝撃破壊方向などの制御に対し、強い要求がある。自動車の前方部に配置される衝撃エネルギー吸収部材に関する研究の動向として、衝撃エネルギー吸収能率を上げるために材料をできるだけ「中心」から離れたところに配置するという発想で、薄肉の円筒、角筒などについて多くの検討がなされてきたが、近年、衝撃荷重を制御するために、一部の材料を「中心」に近いところに配置するような、隔壁がある筒材や円筒・角筒に波加工を施す研究も注目されるようになってきている。また、衝撃を吸収するためには吸収部材単体の機能だけではなく衝撃吸収部材を取り付けた全体のフレーム構造における変形と崩壊を制御することが重要であるが、最弱部のエネルギー吸収能力を超えた時点で連続的に同部での変形が増大し荷重の低下が生じ不安定な変位と荷重の関係になるため変形モードの制御が困難となる。こうした背景から、これまで軽量かつ優れた衝撃吸収性能を持つ衝撃吸収部材の開発について一連の研究を行ってきた。具体的には、圧潰モードにおける波の役割について検討を始め、研究をさらに促進するために重要となるネックポイントを把握した。また、衝撃エネルギー吸収部材の圧潰荷重の評価に関して、これまで報告された国内外の研究では、曲げに伴う座屈変形によりエネルギーを吸収するものが多く、局所的に荷重振幅が大きく発生する不安定な変形モードの場合や安定変形するための幾何寸法の制約条件が多く荷重条件の制御が難しい、更に任意の部位に取り付けることが難しくフレームと組み合わせた場合の変形モードの制御も困難であるなど問題が残されている。そのため、不安定な座屈変形を用いない安定な圧縮-膨張変形を利用した新しい衝撃吸収部材について研究を行ってきた。また、国内外の特許登録も行った。これらの研究により、衝撃荷重の大きさ及び衝撃エネルギーの吸収量を制御できる部材を新たに提案し、更に構造部材に適用し変位と荷重の関係が常に安定変形となる変形モードを制御する手法について研究を必要がある。

2. 研究の目的

様々な衝撃から人命を守ることは重要であるが、自動車や重機では衝突や転倒時に乗員を守る代表的な箱型フレームとその補強だけでは、最弱部位で変形が始まるとその部位に集中して崩壊が進展し乗員を守るための空間の確保や目標とする衝撃エネルギーの吸収が困難となる。そこで剛性を保ちつつ変形量や変形荷重をコントロールすることができる軽量で優れた衝撃吸収構造部材を開発するための変形モード制御に関する解決手法を提案するものである。従来の衝撃吸収部材の体系とは異なる新しい一体構造の圧縮-膨張型衝撃エネルギー吸収部材を適切にフレーム構造物に配置し締結することで全体の変

形モードを制御し荷重変位が安定変形する崩壊部位制御型フレーム構造(荷変 BOX)を提案し、そのメカニズムの把握により、製造コストや開発コスト削減が図れる設計技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究は3年間で実施する。一体型圧縮膨張吸収部材によるフレーム部材の変形モード制御を可能とする衝撃エネルギー吸収部材構造(荷変 BOX)の設計システムを構築するために、数値シミュレーション、実態評価実験などによる系統的な検討を計画し、その中で必要となる各課題に取り組んで行く。なお、本研究計画では、いくつかの課題については並列的、または順不同的に取り組んでいくことが可能なため、当初の計画通りに進まない点についてはフレキシブルに対応した。

4. 研究成果

圧縮膨張部材を適用したキャブフレームのエネルギー吸収特性に関して有限要素法汎用解析ソフト MSC.Marc を用い、エネルギー吸収部材を適用した角筒の弾塑性解析を行った。本研究では圧縮膨張部材を圧潰したときの荷重と変位の関係をバネ要素に適用した簡易的なモデルを用いた。圧縮膨張部材の荷重変位線図を図1に示す。

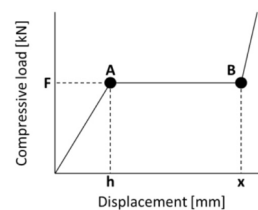


図1 圧縮膨張部材の荷重変位線図

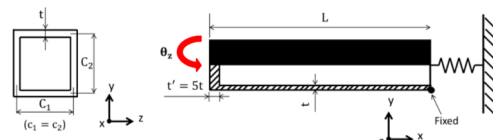


図2 解析モデル

バネ要素の特性としては、圧縮部材が膨張部材に入り込んでから圧縮部材同士が接触するまでの一定荷重  $F$  と圧縮部材同士が接触するまでの変位  $x$  を変化させ、一定荷重  $F$  となるまでの変位  $h$  は  $h=0.1x$  とした。  $F$  は予め行った角筒の純曲げ解析より求めた崩壊荷重  $P_{cr}$  を用いて  $F=aP_{cr}$  とし、  $a=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  の4通りに変化させた。また、  $x$  は  $10, 20, 30$  [mm] の3通りに変化させた。解析モデルを図2に示す。角筒の右端をバネに繋ぎ、バネの他端は完全拘束する。バネが繋がれている面は変形しないように剛性の高いものを想定した。角筒の左端も変形を防ぐために蓋を設けて、蓋部分に  $z$  軸周りの回転変位  $\theta_z$  を与えた。角筒は長さ  $L=1000$  [mm]、断面一辺の長さ  $c_1=100$  [mm] とし、肉厚  $t$  は変形挙動による影響について比較を行うために  $t=1, 2, 3, 4, 5, 6$  [mm] の6通りに変化させた。角筒はミーゼスの降伏条件に従う等方・均質な弾塑

性材料とし、応力と歪みの関係は式(1)で表される二直線硬化則に従うものとする。

$$\sigma = E \varepsilon \quad [\varepsilon < \sigma_y/E]$$

$$\sigma = \sigma_y + E_h(\varepsilon - \sigma_y/E) \quad [\varepsilon \geq \sigma_y/E] \quad (1)$$

成果として得られた結果及び検討

・変形挙動に関する検討

曲げ変形の様子を図 3 に示す。崩壊過程においてしわが発生する変形(Buckling 型)としわが発生しない変形(Flattening 型)に分かれた。Buckling 型でも側面に座屈が生じることで崩壊に至る(Side Buckling 型)と、底面に座屈が生じることで崩壊に至る(Bottom Buckling 型)に分類された。

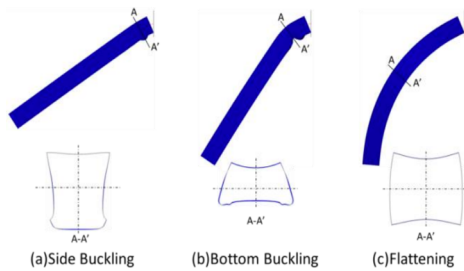


図 3 変形モード

・エネルギー吸収特性に関する検討

角筒が崩壊に至るまでのエネルギー増加量  $\Delta E/\kappa$  と曲率  $\kappa$  の関係を図 4 に示す。エネルギー吸収量  $E$  はバネ要素の仕事  $W$  と角筒が変形する際の歪エネルギー  $U$  の和で表される。バネ要素の力  $F$  を変化すると、バネ要素が  $x$  まで伸びた後に角筒が崩壊に至るタイプ(Type1)とバネが  $h$  まで伸びる前に角筒が崩壊に至るタイプ(Type2)に分類された。

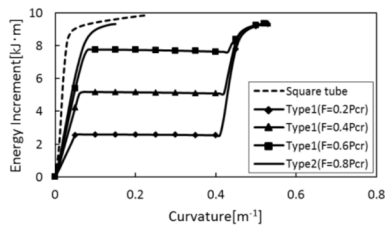


図 4 エネルギーの増加量 ( $t/c_1=0.03$ ,  $x = 20[\text{mm}]$ )

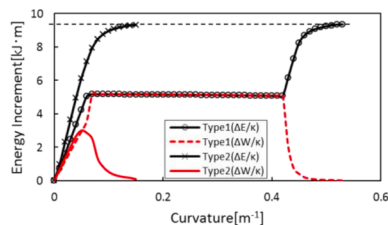


図 5 エネルギーの増加量 ( $t/c_1=0.03$ ,  $x = 20[\text{mm}]$ )

Type1 ではバネ要素を適用したことで崩壊に至るまでの変形量が増加したことが確認できる。エネルギー吸収量(横軸とエネルギー増加量で囲まれた面積)を比較すると、Type2 は角筒のみの場合に比べて低く、Type1 であっても  $F$  が小さいとエネルギー吸収量が低いことから、エネルギ

ー吸収性能を向上するためにバネ要素の力の最大値  $F_{max}$  を求める。図 5 にエネルギー及びバネによる仕事の増加量の推移を示す。崩壊に至るまでのエネルギー増加量の最大値はタイプによらずほとんど同じであること、エネルギーの増加量が一定のときバネ要素の仕事の増加量と一致していることから  $F_{max}$  を求めた。バネ要素の力  $F = F_{max}$  として再度解析を行った結果、高いエネルギー吸収性能を維持したまま崩壊まで変形することが分かった。各肉厚条件において、バネ要素の適用によるエネルギー吸収量の増加率を計算した結果、Side Buckling 型が最も高いことが分かった。これは、崩壊に至るまでの変形量が他の変形モードに比べて小さく、エネルギー吸収量に対するバネ要素の仕事の割合が高いためである。

・キャブフレームへの適用

キャブフレームに対してバネ要素を適用したときの変形挙動及びエネルギー吸収特性について検討を行う。キャブフレームは角筒を組み合わせることによって作成し、側面から剛体壁を設けて強制変位  $U_x=500[\text{mm}]$  を与え、キャブフレームを圧潰させた。各部材の肉厚条件は 2, 4[mm] を基本とした L12 直交表を用いて解析を行った結果より、最もエネルギー吸収量の多いものとした。材料特性については角筒における条件と同様とし、境界条件についてはモデル底面の 4 隅を完全拘束した。本研究では、変形の過程で生じる座屈の発生を制御することが目的であるため、解析結果よりしわが生じた箇所を対象としてバネ要素を適用した。図 6 に変形図を示す。バネ要素を適用することで部材に生じるしわが小さくなっていることが分かる。また、荷重変位線図(図 7)を比較すると、バネ要素を適用する前と比べて低くなっていることが分かる。これはフレームより先にバネ要素が変形するため、荷重が低下したためである。

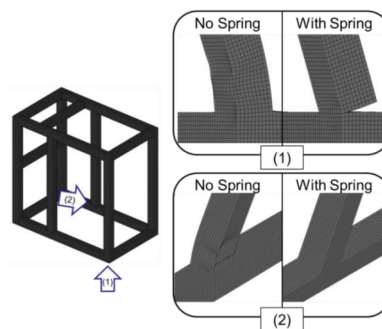


図 6 変形図

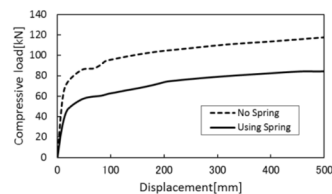


図 7 荷重変位線図の比較

本研究により一体型圧縮膨張衝撃吸収部材を用いてフレーム等の破壊部位を制御しつつ高い衝撃エネルギーを吸収する設計方法を明らかに

した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Oke Oktavianty, Tadayuki Kyoutani, Shigeyuki haruyama, Acausal and Causal Model Construction with FEM Approach Using Modelica, International Science Index, Industrial and Manufacturing Engineering Vol:10, No:3, 2016 138- 146
- ② Shigeyuki Haruyama, Oke Oktavianty, Zefry Darmawan, Tadayuki Kyoutani, Ken Kaminishi, Study on Energy Absorption Characteristic of Cab Frame with FEM, International Science Index, Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:10, No:3, 2016 548-554
- ③ Junji Kaneko, Shigeyuki Haruyama, Ken Kaminishi, Tadayuki Kyoutani, Siti Ruhana Omar, Oke Oktavianty Proposal of design method in the Semi-Acausal system model, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering 査読有, Vol:9, No:2, pp171-175, 2015

[学会発表] (計 11 件)

- ① Shigeyuki Haruyama, Zefry Darmawan, Ken Kaminishi, Study on Bending Characteristics of Energy Absorption Part by Using Square Tube, ICMMME 2017, 2017.3.26-27, Madrid, Spain
- ② I Made Gatot Karohika Shigeyuki Haruyama, Ken Kaminishi, Oke Oktavianty, Didik Nurhadiyanto., Analysis of Contact Width and Contact Stress of Three-Layer Corrugated Metal Gasket, ICMMME 2017, 2017.3.26-27, Madrid, Spain
- ③ Oke Oktavianty, Tadayuki Kyoutani, Shigeyuki Haruyama, Ken kaminishi, An Experimental Study to Control Single Droplet by Actuating Waveform with Preliminary and Suppressing Vibration, ICIEM 2017, 2017.3.24-25, Praha, Czech Republic
- ④ Nishiyama Takashi Akira, Tadayuki Kyoutani, Nguyen Huu Phuc, Shigeyuki Haruyama, Oke Oktavianty, Study on Clarification of the Core Technology in a Monozukuri Company, ICIEM2017, 2017.3.24-25, Praha, Czech Republic
- ⑤ 浴本祐希, 春山繁之, 上西研, エネルギー吸収部材を適用した角筒の曲げ特性に関する研究, 日本機械学会 中国四国支部 第 55 期総会・講演会, 2017.3.7, 広島工業大学 (広島県・広島市)
- ⑥ Oke Oktavianty, Tadayuki Kyoutani, Shigeyuki haruyama, Acausal and Causal Model Construction with FEM Approach Using Modelica, ICMSEM2016, 2016.3.21-22, ROME, ITALY
- ⑦ Shigeyuki Haruyama, Oke Oktavianty, Zefry Darmawan, Tadayuki Kyoutani, Ken Kaminishi, Study on Energy Absorption Characteristic of Cab

Frame with FEM, ICAME2016, 2016.3.17-18, LONDON, UK

- ⑧ 村上 将, 春山 繁之, 上西 研, 一体型圧縮膨脹部材の性能評価, 日本機械学会中国四国第 54 期総会講演会, 2016.3.8-3.9 愛媛大学(愛媛県・松山市)
- ⑨ 海木 裕貴, 春山 繁之, 上西 研, キャブフレームのエネルギー吸収特性に関する研究, 日本機械学会中国四国第 53 期総会講演会, 2015.3.5-3.6 近畿大学工学部(広島県・東広島市)
- ⑩ 木村 祐二, 春山 繁之, 上西 研, 箱型フレームの変形モードに与える衝突速度の影響, 日本機械学会中国四国第 53 期総会講演会, 2015.3.5-3.6 近畿大学工学部(広島県・東広島市)
- ⑪ Junji Kaneko, Shigeyuki Haruyama, Ken Kaminishi, Tadayuki Kyoutani, Siti Ruhana Omar, Oke Oktavianty Proposal of design method in the Semi-Acausal system model, ICAME2015, 2015.2.23-24, Paris, France

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

春山 繁之 (HARUYAMA Shigeyuki)

山口大学・大学院技術経営研究科・教授  
研究者番号：10416505