

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560162

研究課題名(和文) 楔形衝撃吸収部材による荷重変位線形制御フレーム構造の開発

研究課題名(英文) Development of load-displacement control frame of the wedge-shaped shock absorbing member

研究代表者

春山 繁之(haruyama, shigeyuki)

山口大学・技術経営研究科・准教授

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、(間接経費) 1,080,000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ことが重要である。そのため、本研究では従来の衝撃吸収部材の体系とは異なる新しい圧縮・膨張型衝撃エネルギー吸収部材とそれをを用いフレーム全体の变形モードを制御し荷重変位が安定するフレーム構造を提案するため、新しい衝撃吸収部材について、荷重の大きさおよび衝撃吸収エネルギーの吸収量を制御できる部材形状を提案、構造部材に適用し変位と荷重の関係が安定となる变形モードを制御する設計手法を提案した。また、乗員を守るためのフレームについてその变形モードを明らかにした。前述の研究より得られた結果を基に衝撃吸収部材の配置とその組み合わせのための設計方法を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：There is a need to protect the crew when the accident happened heavy equipment and motor vehicles. Therefore, in this research, a different new impact strength absorption component from the conventional impact absorbing component was studied. The structure which can control the modification mode of the whole frame using a new impact strength absorption component is proposed. Therefore, the form which can control the size and the amount of energy absorption of load was proposed. Furthermore, when it applied to a frame, the design approach being related of the design approach of displacement and load become stable was proposed. Moreover, modification mode of the frame for protecting a crew member was clarified. The design method for arrangement and combination of an impact absorbing component was able to be clarified based on the result obtained from the above mentioned research.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：衝撃吸収部材 変形モード マスターカーブ

1. 研究開始当初の背景

現在の自動車業界や重機業界では、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、乗員生存空間の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、強い要求が求められている。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非線形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、申請者は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。そのため申請者は、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検討を行った。これらの研究により、衝撃荷重の大きさおよび衝撃エネルギーの吸収量を制御できる部材形状を新たに提案し、更に構造部材に適用し変位と荷重の関係が常に線形となる変形モードを制御する手法について研究を行う必要がある。

2. 研究の目的

自動車や重機では衝突や転倒時に乗員を守ることが重要である。しかし、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圧縮-膨張型衝撃エネルギー吸収部材とそれをを用いフレーム全体の変形モードを制御し荷重変位が線形となる崩壊部位制御型フレーム構造を提案するとともに、そのメカニズムを把握し、製造コストや開発コスト削減を目指すための設計技術の確立を目指した。

3. 研究の方法

本研究は3年間で実施した。組織は春山(准教授)、東京理科大 陳(教授)の2名で変形モードの制御を可能とする衝撃エネルギー吸収部材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だ。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をおこなった。

4. 研究成果

(1) エネルギー吸収部材の特性評価及び設計手法について

本研究では汎用有限要素ソフト“MSC.Marc”を用いて弾塑性数値解析を行い、図 4.1 に示す圧縮膨張部材について幾何形状及び材料特性を変化させ検討を行った。解析条件として、上下端に剛体壁を設け下端の剛体壁は完全固定とし、上端より剛体壁に強制変位 U_x を与えることで軸方向に圧縮させた。また、材料は鋼を想定した均質・等方な弾塑性体とし、応力とひずみの関係は式(4.1)で表される二直線硬化則で近似できるものとした。ここで σ_y 、 E 、 E_h はそれぞれ降伏応力、縦弾性係数(205.9GPa)、硬化係数を表す。本研究では、解析を二つに分かれ、一つ目は幾何寸法及び材料特性が変形モード及びエネルギー吸収特性値に及ぼす影響の検討のために行う 3 次元解析であり、二つ目は膨張圧縮部材の最適設計を提案するために行う 2 次元軸対称解析を行った。

$$\begin{aligned} &= E && \left(< \sigma_y / E \right) \\ &= \sigma_y + E_h \left(\sigma_y / E \right) && \left(> \sigma_y / E \right) \end{aligned} \dots(4.1)$$

成果として得られた結果及び検討

・変形モード

図 4.2 膨張圧縮部材の変形モードの分類を示す。軸方向の変形を観察した結果、変形モ

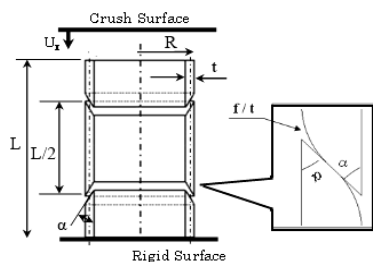


Fig.4.1 Tube Geometry and Loading Condition

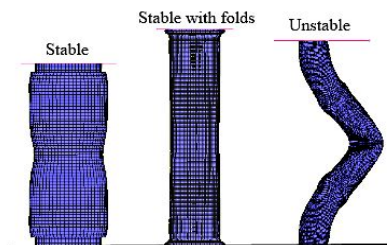


Fig4.2 Deformation modes

ードは Stable mode、Stable mode with folds 及び Unstable mode という 3 つの種類に分けることができる。図 4.3 及び 4.4 に加工硬化係数別及び降伏応力別の膨張圧縮部材の変形モードマップを示す。各図より、膨張圧縮部材は平均半径と全長の比 L/R が大きいほど変形モードが不安定な変形 (Unstable Mode) になりやすい。一方、肉厚と平均半径の比 R/t を大きくすれば膨張圧縮部材の変形はより安定になる。また、材料特性の影響について加工降下係数比 E_h/E が小さいほど、変形モードが Stable Mode になりやすく降伏応力 σ_y が大きいほど、変形モードが Stable Mode になりやすいことが見られる。さらに、図 4.5 及び 4.6 に加工硬化係数別及び降伏応力別の膨張圧縮部材のエネルギー吸収特性を示す。各図より、加工降下係数比 E_h/E が小さいほどエネルギー吸収量及び平均荷重が小さくなり、降伏応力 σ_y が大きいほど、エネルギー吸収量及び平均荷重が高くなるが見られる。但し、 L/R が大きいほど変形モードが不安定な変形になりやすいため、不安定変形の範囲に入ればエネルギー吸収量が急激に低下することが分かった。これらの結果を踏まえ、下記の設計手法を提案した。

・膨張圧縮部材の設計手法の提案

複数のコンパクトカー及び中型車のモデルを取り、仕様寸法を平均化することにより、膨張圧縮部材の使用寸法の範囲として全長

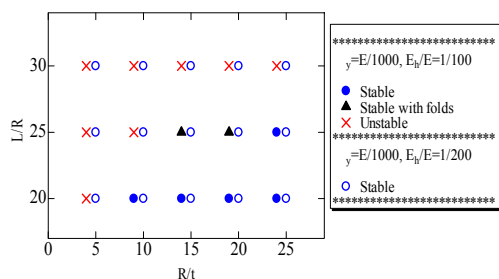


Fig4.3 Deformation modes map($E_h/E=1/100, 1/200$)

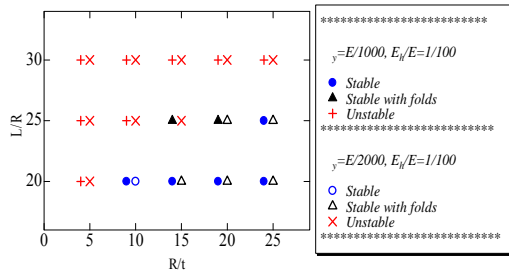


Fig4.4 Deformation modes
map($\sigma_y=E/1000, E/2000$)

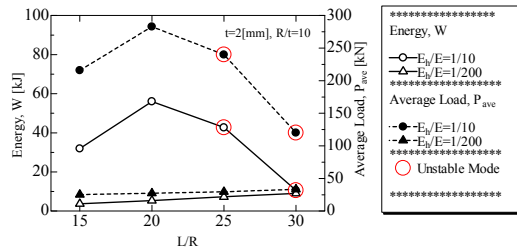


Fig4.5 Comparison graph($E_h/E=1/100, 1/200$)

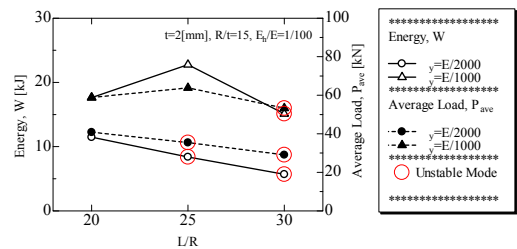


Fig4.6 Comparison graph($\sigma_y=E/1000, E/2000$)

が 600[mm]以下で必要最小限のエネルギー吸収量は約 41[kJ]と推定する．そのため，最も近いエネルギー吸収量を持つ， $L=450$ [mm]， $t=2$ [mm]， $R=30$ [mm]， $E_h/E=1/10$ の膨張圧縮部材を基本設計として決定した．そこで， $L=450$ [mm]， $t=2$ [mm]， $R=30$ [mm]， $E_h/E=1/10$ を現行条件(水準 2)とし，3 水準 4 要因 (表 1 に参照) の直交表 $L^9(3^4)$ のタグチメソッドを用い，エネルギー吸収量を性能特性とした場合の膨張圧縮部材の最適設計を行った．図 4.1 に設計要因の要因効果図を示す．図 4.1 よりエネルギー吸収量が性能特性とした場合，エネルギー吸収量を大きくするために，現行条件より全長 L ，肉厚 t ，加工硬化係数比 E_h/E を大きくし平均半径 R を小さくする必要がある．また要因の影響度を検討するために分散分析 (ANOVA) を行い，その結果は図 4.7

に示す．図 4.2 よりエネルギー吸収量の大きさを優先する場合，肉厚 t 及び加工効果係数比 E_h/E が重要な支配要因であることが明確した．最後に，重回帰分析を行い各要因を考慮するエネルギー吸収量 W の予測式を提案する．求められた重回帰式は式(4.1)で表される．解析結果と比較した結果，相対誤差の平均は 50%に納め，重相関係数が 1 に近いので，精度のよい予測式であることを確認することができた．

Table 1 Values for each Factors and Levels

要因	水準	水準		
		1	2	3
1	長さ、L[mm]	400	450	500
2	半径、R[mm]	25	30	35
3	肉厚、t [mm]	1.5	2	2.5
4	加工硬化係数比、 E_h/E	1/5	1/10	1/15

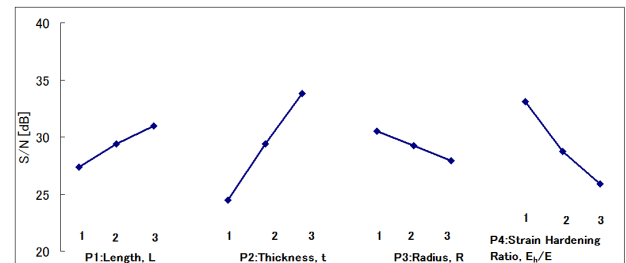


Fig4.7 Factor effect chart

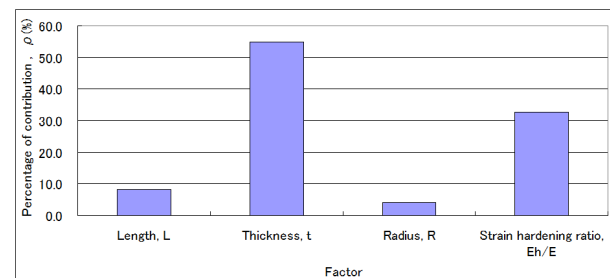


Fig4.8 Factor's percentage of contribution

$$W = -284.768 + 0.321(L) + 60.681(t) - 0.627(R) + 390.210(E_h/E) + 156.407(\mu) \quad (4.1)$$

(2) 箱型フレームとエネルギー吸収部材に関する検討について

重機の箱型フレームを想定した条件(図 4.9)を用いてフレームの肉厚が変形モードに与える影響などについてタグチメソッドを用いて検討を行った．

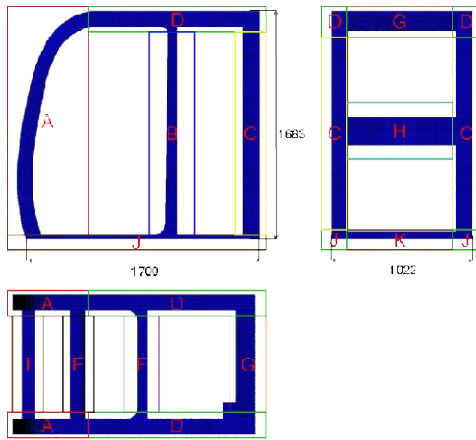


Fig.4.9 Geometry and Loading Condition
標準肉厚を 4mm とした場合、部材 C 下部にしわが発生する変形モード(図 4.10)及び部材 C 下部にしわが発生しない変形モード(図 4.11)に分けることができることを明らかにした。

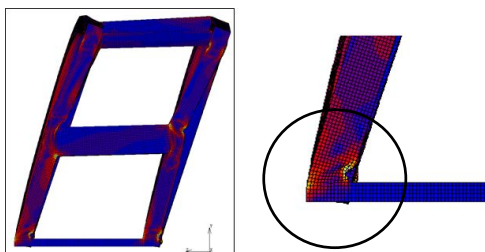


Fig.4.10 Deformation modes ()

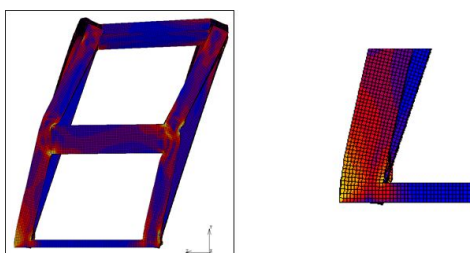


Fig.4.11 Deformation modes ()
更に箱型フレームの剛性に高い影響を与えていると考えられる部材 C 及びその梁の肉厚を変化させることで、3 種類の変形モード(図 4.12~4.14)になることを明らかにした。

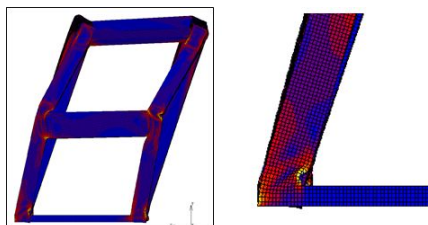


Fig.4.12 Deformation modes (a)

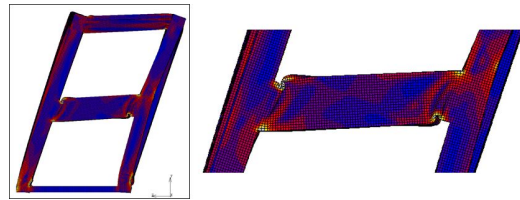


Fig.4.13 Deformation modes (b)

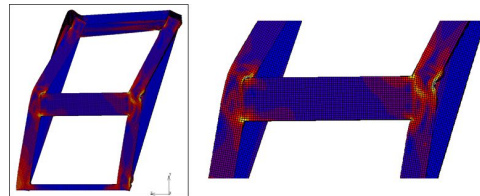


Fig.4.14 Deformation modes (c)

更に、梁の部分にエネルギー吸収材を取り付けることで目的に応じた設計が可能となることを確認できた。

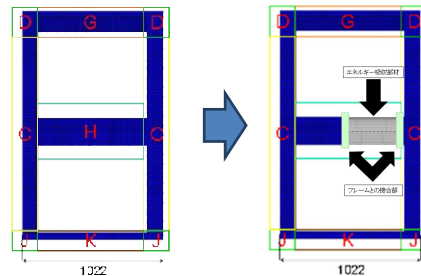


Fig.4.15 Crash box and frame model

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 7 件)

Shigeyuki Haruyama, Aidil Khaidir Bin Muhamad, Tadayuki Kyoutani, Kenji Miyake, Tomohisa Kimura, Ken Kaminishi, A Study of Technology Trends Analysis Using Patent Search Systems, Journal on Innovation and Sustainability, 査読有, Vol.5, No.2, pp. 18-35 (2014)

Shigeyuki Haruyama, Aidil Khaidir Bin Muhamad, Ken Kaminishi, and Dai-Heng Chen, Modes of Collapse of Compress-Expand Member under Axial Loading, World Academy of Science, Engineering and Technology, 査読有, Vol.74, 2013, pp. 657-664

Shigeyuki HARUYAMA, Aidil Khaidir BIN MUHAMAD, Tadayuki KYOUTANI, Ken KAMINISHI, Dai-Heng CHEN, Implementing ALD in Product Development: The Effect of Geometrical Dimensions on Tubular Member

Deformation, International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, 査読有, Vol.7 No.11, pp.413-417(2013)

Shigeyuki Haruyama, Didik Nurhadiyanto, Moch Agus Choiron, Ken Kaminishi, Influence of Surface Roughness on Leakage of New Metal Gasket, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 査読有, Vol. 111-112 pp. 146-154(2013)

Shigeyuki Haruyama, Hiroyuki Tanaka, Dai-Heng Chen, Aidil Khaidir Bin Muhamad, Study on the Deformation Modes of an Axially Crushed Compact Impact Absorption Member, World Academy of Science, Engineering and Technology, 査読有, Vol.66(2012), pp.1222-1230

Shigeyuki Haruyama, Daiheng Chen, Ken Kaminishi, Takuya Niyama, Effect of Deformation Mode of Cylindrical Tubes with Corrugated Surface Dimensional Errors, The 8th International Conference on Innovation and Management (ICIM 2011), 査読有, pp335-341

Shigeyuki Haruyama, Hiroyuki Tanaka, Dai-Heng Chen, Aidil Khaidir, Axially Crushed Characteristics of Compact Impact Absorption Member, The 8th International Conference on Innovation and Management (ICIM 2011) 査読有, pp1047-1051

〔学会発表〕(計7件)

Shigeyuki Haruyama, Aidil Khaidir Bin Muhamad, Ken Kaminishi, and Dai-Heng Chen, Modes of Collapse of Compress-Expand Member under Axial Loading, International Congress University of Science, Engineering and Technology, July20-21, 2013, Chengdu, China

小銭貴規, 春山繁之, 上西研, 軸圧潰荷重を受ける圧縮膨張部材のエネルギー吸収効率, 日本機械学会 中国四国支部 第51期総会・講演会, 2013年3月8日, 高知工科大学(高知県香美市)

Shigeyuki Haruyama, Aidil Khaidir Bin Muhamad, Ken Kaminishi, Dai-Heng Chen, Study on the effect of geometric parameters towardsthe deformation modes of tubular members, International Conference on Innovative Design and Manufacturing, December12-14, 2012, Taipei, Taiwan

Shigeyuki Haruyama, Hiroyuki Tanaka, Dai-Heng Chen, Aidil Khaidir Bin Muhamad, Study on the Deformation Modes

of Axially Crushed Compact Impact Absorption Member, WORLD ACADEMY OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY ISSUE 62 FEBRUARY 2012 FLORENCE ITALY pISSN 2010-376X eISSN 2010-3778, February 28-29, 2012 at Florence, Italy Shigeyuki Haruyama, Daiheng Chen, Ken Kaminishi, Takuya Niyama, Effect of Deformation Mode of Cylindrical Tubes with Corrugated Surface Dimensional Errors, The 8th International Conference on Innovation and Management (ICIM 2011), 2011, 11.30-12.02, Kokura, JAPAN

Shigeyuki Haruyama, Hiroyuki Tanaka, Dai-Heng Chen, Aidil Khaidir, Axially Crushed Characteristics of Compact Impact Absorption Member, The 8th International Conference on Innovation and Management (ICIM 2011), 2011, 11.30-12.02, Kokura, JAPAN 春山繁之, 陳玳珩, 田中洋征, 小型衝撃吸収部材の軸圧潰特性, 日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス, 2011年7月15日~18日, 九州工業大学戸畑キャンパス(北九州市)

〔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〕
特になし

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・准教授
研究者番号: 10416505

(2) 研究分担者

陳 ダイコウ(Dai-Heng Chen)
東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 90217266