

氏 名 前 森 健 一

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 57 年 12 月 8 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 41 年 3 月
岩手大学工学部機械工学科卒業

学 位 論 文 題 目 油圧緩衝装置の最適設計に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 斎藤 秀雄 東北大学教授 阿部 博之
東北大学教授 大宮司久明 東北大学教授 渥美 光
東北大学教授 八巻 昇

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

最近機械および機械構造物の高効率化，省エネルギー化に伴い，軽量でかつ高速運動をする構造系が航空機および車輛などの諸分野において広く用いられるようになり，これらに対する安全性向上の課題はますます重要視されてきている。特に，自動車事故は大きな社会問題の一つとなっており，自動車の安全性向上達成への努力が要請されている。これら事故において，衝突時の衝撃を軽減する役割を担うものとして注目されるものが緩衝装置である。各種の緩衝装置の中では，抵抗力特性を自由に選んで設計することができ，かつ広範囲の衝突条件下で性能を発揮させることができる油圧緩衝装置が最も重要である。一方大型電子計算機の発達に伴って，近年，緩衝装置の最適設計の問題が研究されている。しかし，これらの研究では抵抗力が定数係数と速度のべき乗との積で表わされる項を含む緩衝装置が対象であり，抵抗力が変位に依存する係数と速度の二乗との積で表わされる項を含む油圧緩衝装置を扱った例は見あたらない。他方抵抗力特性に流体の圧縮性の影響が表われる場合の油圧緩衝器を扱った最適設計の研究が報告されているが，そこで提案されている最適化手法は適用範囲が限定されたものである。現在緩衝装置の最適抵抗力特性は，一つの油圧緩衝装置と一つの質点のみからなる系については解明されている。しかしこの系にばねと減衰要素が追加

されて構成される系、および複数の緩衝装置と質点を含む系についてはほとんど未解明である。さて、実物の緩衝装置の性能評価は、実車衝突試験のような本来の使用状態での試験においてだけでなく、台上衝撃試験のような単純化された模擬試験においても行われている。そこで緩衝装置の最適設計においてもその抵抗力特性は両試験に対応させて示すのが適当である。

これらのことから、本研究は自動車が固定壁に衝突する場合の車体の損傷を軽減し、乗員の安全を確保する目的で、変位に依存する抵抗係数と速度2乗比例抵抗を有する1個または複数個の油圧緩衝器あるいは圧縮性流体を有する1個の油圧緩衝器を含む問題の系と、油圧緩衝装置の台上衝撃試験に対応する系を関連づけ、最適化手法として非線形計画法SUMTおよび理想の系の最適応答特性を利用する方法の二つを用いて、油圧緩衝装置の最適設計の問題を解析したものである。

第2章 油圧緩衝器

本章では、多孔式油圧緩衝器に用いる緩衝器内部の流体の圧縮性を考慮する場合の関係式を、Dowらの式、連続の式、およびオリフィスより流出する流体に関する運動方程式を用いて導出し、さらにこの関係式を用いてシミュレーション計算を行い、衝突実験による値と比較、検討した。この結果、計算値と実測値は比較的良好に一致しており、本関係式の妥当性が確認された。さらにまた、時速8km/hで固定壁に衝突する自動車の最大加速度、最大変位、および油圧緩衝器最大抵抗力軽減の問題を、本関係式を用いたシミュレーション計算によって解析した。この結果、固定壁低速衝突の自動車に最適な油圧緩衝器の台上衝撃試験および実車衝突試験に対応する系における抵抗力特性は、最小化の対象とする項目、すなわち車体の最大加速度、エンジンの最大加速度、車体に対するエンジンの最大相対変位などによってさまざまであることが明らかとなった。

第3章 1個の油圧緩衝器を有する系の最適設計

本章では、1個の油圧緩衝器を有する系の最適設計の問題を考え、これに適用する解法としてヘビサイドの単位階段関数によるSUMT変換とPowellの共役傾斜法からなるSUMTの採用を提案した。ここで取り扱っている油圧緩衝器は変位に依存する抵抗係数と速度2乗比例抵抗を有するものである。本問題では、台上衝撃試験に対応する系の緩衝装置抵抗力を区分的線形化して与え、さらにその抵抗力を最適解探索の際の未知パラメータとして設定した。ここでは主に質点の最大加速度を評価関数とする問題を扱ったが、最大変位を評価関数とする問題についても簡単に触れた。最適設計の具体例として、復原ばね付き緩衝装置を有する固定壁低速衝突の自動車の1質点系モデル、および油圧緩衝器を車体に並列または直列に配置した固定壁高速衝突の自動車の2質点系モデルについての問題を取り扱った。数値計算の結果、系の質点の最大加速度または最大変位を最小にする緩衝装置の抵抗力特性、ならびに系の最適加速度特性が明らかとなった。また、実車衝突試験に対応する系の最適緩衝装置の抵抗力特性と、その緩衝装置の台上衝撃試験に対応する系の抵抗力特性との間には大きな相違が見られることが確かめられた。この相違は現在用いられている両系を最初から共にした場合には明らかにされず、緩衝器製作には不便である。このため前記の2種類の系に対し緩衝装置の抵抗力特性を示したことには必然性が認められる。さらに、SUMTを用いて最

最適設計を行う場合、未知パラメータに対する一次変換を適当に選べば、緩衝装置の最適設計に対し、従来の方法では最適解が得られないことに比べ、確実にその解が求められることを明らかにした。

第4章 ばねおよび減衰要素の最適化をも考慮する最適設計

本章においては、ばねおよび減衰要素の最適化をも考慮に入れて1個の油圧緩衝器を有する系の最適設計の問題を解析した。ここでは油圧緩衝器を並列または直列に配置した自動車を2質点系モデルで近似し、自動車の固定壁高速衝突において、質点すなわち乗員の最大加速度を最小にする車体の最適ばね定数・減衰係数、シートベルトの最適ばね定数、および油圧緩衝器の最適抵抗力特性を最適化手法としてSUMTを用いて求めた。この場合、油圧緩衝器の区分的線形化抵抗力と1個のばね定数を組み合わせたものと、それにさらに1個のばね定数と減衰係数を加えたものの2種類を未知パラメータとして設定し、さらにこれらのパラメータに対し一次変換を行い、最適解探索の際の困難さを軽減した。数値計算においては、最適緩衝器の抵抗力特性を、実車衝突試験に対応する系と台上衝撃試験に対応する系の両方について明らかにした。さらに車体の弾性変形および塑性変形に対応するばね定数および減衰係数、ならびにシートベルトのばね定数の各最適値を明らかにし、これらの値と前記定数および係数があらかじめ与えられた場合のそれらの値とを比較した。

第5章 理想の系の最適応答特性を利用する方法

本章では、理想の系の最適応答特性を利用する方法を用い、変位に依存する抵抗係数と速度2乗比例抵抗を有する油圧緩衝器を含む1および2質点系の自動車衝突モデルについて、1質点系の場合は車体の、2質点系の場合は乗員の、共に最大加速度を軽減する目的で緩衝装置の最適設計を行った。さらに、本方法による数値計算から得られた結果とSUMTによる結果とを比較、検討した。ここで提案されている方法は、一定加速度特性を発生させることができる理想の系の理論的最低限度の加速度に最適化を計る系の加速度を可能な限り近づけることによって最適解を見つけ出そうとするものである。本方法の最適解探索手順は1質点系の場合と2質点系の場合とでは一部異なっている。数値計算の結果、系の最適加速度特性は、復原ばね付き緩衝装置1個直列配置の1質点系の場合、本方法のほうがSUMTに比べ理想の系の最適特性に近いが、緩衝器1個直列配置の2質点系の場合は、SUMTを用いても本方法による結果との差は小である。また、所要計算時間は、本方法のほうがSUMTに比べ1質点系についても2質点系についてもある程度短縮された。

第6章 複数の油圧緩衝器を有する系の最適設計

本章では、車体の衝突時のエネルギーを吸収する油圧緩衝器とエネルギー吸収ベルトとの二つのエネルギー吸収装置を有する自動車を2個の油圧緩衝器を含む二つの2質点系衝突モデルに置き換え、複数の油圧緩衝器を有する系の最適設計の問題としてSUMTを用いて解析した。この場合複数の油圧緩衝器の台上衝撃試験に対応する系の区分的線形化抵抗力を組み合わせたものを未知パラメータとして設定し、さらにこのパラメータに対し一次変換を行った。ここで扱っている油圧緩衝器は抵抗力が変位に依存する抵抗係数と速度の二乗との積で表わされる場合のものである。乗員の最大加速

度を軽減する目的で行った数値計算の結果、油圧緩衝器が並列と直列に各1個配置された2質点系および2個直列に配置された2質点系において、最適緩衝器の実車衝突試験に対応する系および台上衝撃試験に対応する系のそれぞれにおける抵抗力特性、ならびに系の最適加速度特性が明らかとなった。

第7章 油圧緩衝器内部の流体の圧縮性を考慮する場合の最適設計

本章では、理想の系の最適応答特性を利用する第5章の方法を拡張し、流体の圧縮性をも考慮に入れてオリフィス棒式油圧緩衝器の最適設計の問題を解析した。ここで用いられている流体の圧縮性を考慮する場合の関係式は、Dowらの式、連続の式、およびベルヌーイの式から求めたものである。まず、前記の関係式を用いて、圧縮性流体を有する油圧緩衝器の抵抗力-変位および抵抗力-時間の両特性を求め、その立ち上がり状態を解明した。次に、その関係式を用いて、1質点系の自動車衝突モデルについて、車体の最大加速度を軽減する目的で最適設計を行い、その結果を流体の圧縮性を考慮しない場合の第5章の結果と比較、検討した。圧縮性流体を有する場合の油圧緩衝器においては、緩衝器の変化の零付近でオリフィスを閉じることができるので、質点の加速度-変位曲線の立ち上がりは非圧縮性流体として取り扱う場合よりも急峻となり、かつ質点の最大加速度も低下することが分かった。

第8章 結 論

本論文を要約し、結果をとりまとめたものである。

審査結果の要旨

車両、航空機その他の機械および機械構造物の軽量化、高速化に伴い、衝突事故における乗員の安定性の確保は、緊急な社会問題の一つとして注目を集めている。これらの事故の発生において、衝突時の衝突を軽減する役割を担うものが緩衝装置である。本装置は一般に油圧緩衝器とばねおよび減衰要素との組合せからなり、これが車体に装着されるものであるが、衝突時の衝撃力に対して緩衝装置の抵抗力特性を最適に選んで設計し、乗員の安全性をいかにして十分に確保するかが甚だ重要な問題となる。

著者はこのような状況のもとに、衝突時における乗員の安全性ならびに車体の損傷の軽減を保つことを目的として、車両、特に自動車の油圧緩衝装置の最適設計に関する新しい解析法を提示し、これを各種のモデルに適用した。本論文はこれらの成果をまとめたもので、全編8章よりなる。

第1章は序論であり、従来の研究、本研究の目的および内容を説明している。

第2章では、多孔式油圧緩衝器について、圧縮性をも考慮して内部流体の運動方程式を導き、これよりシリンダに対するピストンの相対変位と抵抗力との関係式を求めている。さらに本緩衝器の台上衝撃試験を行い、これらの実測値と解析値とが比較的良好に一致することを確かめ、理論式の妥当性を明確にしている。

第3章および第4章では、1個の油圧緩衝器あるいはこれとばねならびに減衰要素の組合せ装置を装着した車両が、固定壁に衝突する場合を考察している。まず車両および乗員を力学的に等価な質点系モデルで置きかえる。そして台上衝撃試験に対応する緩衝器の抵抗力曲線を区分的に線形化して与え、これらとばね定数、減衰係数を未知パラメータとして設定し、非線形計画法の一手法であるSUMTを用いて、質点の最大絶対加速度を最小にする最適な緩衝装置の探索に成功している。これらは有益な成果である。

第5章では、衝突中に乗員あるいは車体に発生する加速度をできるだけ一定値に近づけ、その値を可能な限り理論的最低限度値に引き下げることによって、装置の最適化を計る方法を提案している。

第6章では、複数個の油圧緩衝器を直列あるいは並列に配置する場合の緩衝器の最適調整値、これによって発生する加速度特性を論じ、その有用性を明らかにしている。

第7章では、オリフィス棒式油圧緩衝器を取り上げ、その抵抗力特性を明らかにしている。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は油圧緩衝器ならびに緩衝装置の最適設計に関する基礎的研究を行い、車両衝突時の安全性確保について幾多の貴重な知見を提供したものであり、車両工学ならびに機械工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。