

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 竹内 伸介

修士(工学) 竹内 伸介 提出の論文は、「マルマンクランプ型接手の分離に関する研究」と題し、5章からなっている。

多段ロケットの段間の結合や、衛星とロケットの結合には分離接手が用いられる。これらの分離接手には、結合時には高い強度と剛性が必要とされ、分離時には確実に擾乱の少ない分離動作が求められる。そのために、少量の火薬を用いた火工品の動作により分離する仕組みの分離接手が多数考案され、実用に供されている。これらの分離接手の分離動作に伴い、一定の衝撃加速度が発生することは避けられず、この衝撃加速度は場合によってはロケットや衛星の搭載機器を破壊し、あるいは誤動作を誘起する。従って、この衝撃加速度の値を接手の設計パラメタの値の関数として知ることは、搭載機器の開発の上からも、低衝撃接手の開発の上からも、極めて重要である。本研究で取り扱っているマルマンクランプ型接手は、V字型断面のフランジを端部に有する2つの円筒をフランジ部で合わせ、両フランジ部をV字状の溝を有するマルマンバンドで締めて結合し、火工品でバンドを切断することにより分離を実現する仕組みの分離接手であり、分離時の衝撃が比較的小さいことから、特に衛星分離に古くから多用されている。しかし、その分離衝撃加速度については、現象が複雑であることから、解析的に値を予測した報告は皆無であり、現実の実機開発では、先行する類似の分離接手についての経験と、事後の確認試験に頼っているのが現状である。

この様な現状に鑑み、本論文では、マルマンクランプ型接手の分離時に発生する衝撃加速度を定量的に予測する手法の確立を目指している。先ず大小4種のマルマンクランプ接手を用いて、各種条件の下で多数の分離実験を行い、測定した分離衝撃加速度に基づき、分離衝撃発生メカニズムについて考察している。さらに、考察結果に基づき、現実的な計算量で分離衝撃を定量的に予測する方法を提案し、これにより得られる分離衝撃加速度を実測値と比較して、ほぼ実用に耐えうる程度に予測可能であることを示している。さらにその予測法を用いて、低衝撃に向けた接手構体の設計指針について考察している。

第1章は序論であり、本研究の背景を述べ、関連する研究及び技術の現状を紹介しながら、本研究の必要性と目的を明らかにしている。

第2章では、現実の宇宙プロジェクト用に開発されたものと同等の、材質および直径の異なる4種のマルマンクランプ接手を用いて、各種条件の下で計17回の分離実験を行い、接手構体上の多数の位置で分離衝撃の測定を実施している。更に、測定した分離衝撃を分析することにより、火工品の火薬の発火による衝撃は接手構体上では支配的でないこと、衝撃加速度の値はマルマンバンドの張力にほぼ比例すること、マルマンバンドの質量が増加すると衝撃加速度は低下する傾向にあること、衝撃加速度における支配的な成分の周波数はほぼ接手構体材料の比剛性の平方根に比例し、接手構体の半径に反

比例することなどを明らかにしている。

第3章では、マルマンクランプ型接手の分離衝撃加速度を定量的に予測する手法の提案と、その評価を行っている。

まず、第2章の実験結果で得られた知見とマルマンクランプ型接手の分離動作に対する考察から、分離衝撃加速度については、構体に蓄えられた歪みエネルギーの解放によって発生する接手構体の振動が支配的であるとの仮説を立てている。しかし、本仮説に従って接手構体の衝撃加速度を求めるために、接手構体とマルマンバンドを有限要素法を用いて忠実にモデル化して分離のシミュレーションを行うには、マルマンバンドと接手フランジ間の複雑な接触問題を含む動的解析が避けられず、計算量が非現実的に膨大となる。そこで本論文では、現実の現象を考察した上で、マルマンバンドと接手フランジ間の接触は接手構体の軸対称最低次モードの振動位相のみにより支配される等の近似を導入した上で、モード法による解析を、第2章で実施した多数の実験条件について実施している。その結果、分離実験で衝撃加速度が最大であった半径方向、および軸方向については、実測の衝撃加速度の値とほぼ一致する結果を得ている。

更に、上記解析結果では軸対称振動モードが支配的である点に着目し、より簡略な予測法として、軸対称固有振動モードのみを用いて衝撃加速度を求める簡易計算法をも提案し、解析結果を実験結果と比較吟味して、ある程度の精度での予測が簡便に行えることを示している。

第4章では、第3章で提案した衝撃加速度予測法を実際の接手の設計に活用する例として、低衝撃分離接手の最適設計問題を取り扱っている。総重量、耐荷重性など分離接手に対する一般的な要求条件の下で、分離衝撃の最小化に向けた接手の設計が可能であることを示している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

以上要するに、本論文は、衛星打ち上げなどに多用されるマルマンクランプ型分離接手の分離衝撃加速度について、多くの実験により支配的な発生メカニズムについて考察し、従来は専ら経験に頼って予測していた衝撃加速度の値を、現実的な計算量で定量的に予測する手法を提案するとともに、その実用性を示したものであり、航空宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。