

論文の内容の要旨

申請者 NGUYEN BA THANH LONG

論文題目

スペースデブリ模擬構造への金属製銚撃ち込みに関する研究

スペースデブリ低減に向け金属製銚を用いたデブリ構造との結合方法が提案されており研究が進められているが、拘束されていない構造との結合や、結合に適した金属銚形状、結合後の強度など検討が不十分な課題が残っている。そこで本研究では、金属製銚撃ち込み方法についての各種試験および数値解析を実施し、それらの課題について検討を行い、金属製銚撃ち込みによるデブリ構造との結合方法の有効性を示した他、結合に適した金属銚形状や撃ち込み条件に関する指針を得た。さらに、実用化に向けた詳細な検討に利用できる数値解析モデルを構築した。

まず金属製銚形状に関して、適切な貫入状態の実現および簡素なシステムによる結合強度向上を目指し、以下の方針を提案した。

- ・ターゲットを花卉状に裂くよう、先端形状を円錐形状とした。
- ・引抜時に花卉部を引掛けるよう、金属弾軸部にくびれ部を設けた。
- ・貫通を避けるよう、金属製銚の後部を太くした。

撃ち込み試験では固定条件の異なる供試体に対する試験を行った。まず、固定された供試体への撃ち込み試験を実施し、撃ち込みに対する運動エネルギーと運動量の影響を評価した結果、金属製銚の貫入状態は運動エネルギーの影響が大きいことが分かった。金属製銚の先端角度とターゲット角度に関しては、概ね金属製銚先端角度の半分以下のターゲット角度の余角では、金属製銚の撃ち込み可能性が高いこと、ターゲットの角度の上昇とともに必要な運動エネルギーが上昇することを明らかにした。

次に軌道上の小さいデブリ（慣性が小さいデブリ）への撃ち込み時の挙動を確認するため、自由落下中の供試体への撃ち込み試験装置を開発し、試験を行った。供試体を固定した場合に比べ、自由落下中の供試体への撃ち込みでは必要な貫入速度が増加することが確認された。これは金属製銚の運動エネルギーが貫入ではなく、供試体の速度変化に使われるためであると考えられる。この仮説を確認するた

め、運動量およびエネルギー保存則を基に、固定状態での最小貫入速度と自由落下状態での最小貫入速度を結びつける関係式を導出し、試験結果からその妥当性を確認した。

さらに多様なスペースデブリに対応できるため、上記の試験に対応した数値モデルを構築、解析を実施した。金属材料の特性モデルとして Johnson-Cook モデルを用いた場合に試験結果との誤差が小さいことを明らかにした。評価の結果、材料加工の研究から導出された JC モデルでも 10%程度の誤差で、最小貫入速度の評価に適用できることが分かった。この数値解析モデルは極端に異なる二つの境界条件の撃ち込み現象を統一的に再現できるため、様々なスペースデブリへの撃ち込みについての検討が可能と考えられる。このモデルを用いた数値解析により金属製銚の先端角度の影響と供試体の傾き角度の影響を先行研究より詳細に評価した。数値解析の結果から、ターゲットの傾き角度の余角が金属製銚先端の角度の半分より小さくなると、金属製銚先端部の側面が供試板表面に衝突し、金属製銚がターゲットに貫入しにくくなり最小貫入速度が上昇するとともに、最小貫入速度において金属製銚は供試板に留まらず供試板を貫通することが分かる。試験と数値解析の結果から、金属製銚先端の角度が小さく、ターゲットの傾き角度の余角が金属製銚先端の角度の半分よりも大きい場合に金属製銚の貫入性が高くなり、適切な結合状態が得られることを明らかにした。

引き抜き強度試験を実施し、撃ち込んだ金属製銚の引き抜き強度を向上させる金属製銚形状に関する方針に関して、その有効性を示した。本研究の提案では、従来の研究と異なり、複雑な引き抜け防止装置を用いず、金属製銚の形状工夫のみで、引き抜き強度を向上するため、誤動作の問題を避けることができる。傘部の直径が大きく、くびれ部分のある形状では引き抜き中、くびれ部が供試板の貫入時に生じた花卉部に引っ掛かり、2000N 程度の大きな結合強度が得られた。このことより本研究で検討した金属製銚の撃ち込みによる固定法は、デブリ除去における固定方法として十分な引き抜き強度を有していることが確認できた。なお、実ミッションでは様々な対象に適した形状の金属製銚が必要となるが、今回提案した形状コンセプトを基礎として、構築した数値解析モデルを用いた形状最適化を実施することで実ミッションにおいて利用できる金属製銚の開発が期待できる。