

論文の要旨

題目 マルチマテリアル車体におけるフレームの断面最適化技術と射出成形複合材の成形・構造連成解析技術の検討
(Study on optimization technology of frame cross section and coupled analysis technology of injection molding composites for multi-material car body)

氏名 河村 力

自動車の軽量化に向けては、スチールから樹脂複合材まであらゆる材料を効率的に活用するための構造設計技術と、それを支える机上予測技術が必要である。本研究では、構造設計技術についてはスチールを想定した車体フレームを対象に、複合的な荷重条件に対して座屈抑制可能な断面形状とその考え方を、最適化を用いて検討した。机上予測技術については、射出成形樹脂複合材を対象に成形解析で得た繊維配向角と配向度を構造解析に受け渡し、部品内の面内・面外方向における物性分布を考慮可能な、新たな連成解析手法の検討を行った。

構造設計技術については、複合荷重を受けるスチール製フレームの最適断面の導出と、曲げとねじりの荷重配分の変化による最適断面の変化、及び、その力学的要因を明らかにすることを目的に、曲げ強度とねじり強度の最大化、及び、質量最小化の多目的最適化を行った。一般的な遺伝的アルゴリズムを用いた最適化に加え、前世代の非劣解に類似した設計変数の組み合わせを、増補式空間充填法を用いて取得することで、非線形性の強い座屈現象に対して最適化を行った。その結果、以下二つの結果を得た。1. 初期形状に対して設計空間を拡大することなく、曲げ強度の質量効率を 18.2%、ねじり強度の質量効率を 8.7%向上可能な各断面形状を導出した。これら断面形状は稜線により、圧縮座屈とせん断座屈を緩和できていることを確認した。2. 曲げ強度とねじり強度の機能配分の変化により、各負荷に対して面内方向の板を有するように、最適解が遷移することを明らかにした。以上から、自動車のサイドシルやルーフレールといった、曲げとねじりの複合的な荷重を受ける車体フレームの軽量化を実現する断面設計の考え方を得た。

また机上予測技術については射出成形複合材を対象に、構造強度と挙動の解析精度の向上を検討した。破断させないことを前提に車体適用されているスチールやアルミといった延性材は、降伏特性を再現することで車体開発において実用上十分な解析精度が確保できているのに対し、車体適用時に破断まで想定される脆性的な複合材は、破断現象までを高精度に予測する必要がある。実用上の解析精度が未だ十分には確保できていない。特に強化繊維の微視的な不均質性により部品内の材料物性が変動する射出成形複合材はその難易度が高い。そのため、構造体の破断メカニズムから縁応力とその許容応力の予測精度が重要であることを示した。解析精度の向上には、板厚方向の配向角と配向度の分布による物性の変化を構造解析に反映する必要がある。そのため連成解析プロセスを提案した。提案した連成解析プロセスの検証のため、タルボ・ロー撮像と X 線 μ CT にて射出成形解析から得た繊維配向テンソルの精度を確認したうえで、材料試験から物性と配向角・配向度の関係を取得し、材料モデルを同定した。これら結果を元に、3 点曲げ試験を対象に、従来手法の解析誤差が 20~30%台であったのに対し、提案手法での解析誤差は約 5%以下であり、解析精度が向上することを確認した。さらに自動車開発における有効性を確認するため、自動車部品を想定した H 型の断面を有したフレームを対象に、新手法を適用し、その効果を検証した。最大発

生荷重と破断変位ともに従来手法の解析誤差が 30%前後であるのに対し、新手法は 4%以内であり、面内方向の荷重や板厚方向の配向度に大きな分布を有さない状態においても、提案手法に優位性があることを確認した。これらは、フランジ端部において、試験片から取得した物性を上回る高い配向度を有した結果、縁応力発生部の許容応力が上昇したためであり、その結果、破断変位の解析精度も向上したと考える。

以上から、曲げとねじりの複合荷重を対象に座屈抑制可能な断面形状とその設計指針を取得し、スチールのポテンシャルを活かしきるための構造設計技術を取得した。更に軽量材料の車体適用における課題であった机上予測技術についても、従来の面内方向の配向角だけでなく、面内と面外方向の配向角と配向度を考慮可能な成形・構造連成解析技術を構築し、マルチマテリアル車体の設計に必要な要素技術を得られた。