

【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 27-141

補助事業名 平成27年度 異常荷重に対するエネルギー吸収構造体の最適設計に関する研究 補助事業

補助事業者名 豊田工業大学 教授・下田昌利

1 研究の概要

大地震や衝突のような大規模（異常）荷重に対して、人や主構造物を保護する目的で、材料の塑性変形を利用して外力エネルギーを吸収する構造やデバイスが開発されてきている。地震荷重に対しては主構造を健全な状態に保ったまま、地震後に取替え又は容易に補修ができるよう2次部材（デバイス）に大きな塑性変形を生じさせて耐震性能を向上させるものである。自動車の衝突では骨格部材やインナーパネル等を衝撃吸収部材として利用し、塑性変形によって乗員や歩行者を保護している。いずれも人や主構造物を保護する強度的ヒューズの役割を担っており、アクティブ型デバイスに比較して経済的で経年劣化がないことや電力供給を必要としないパッシブ型（特に地震に対して停電などの影響を受けず、安定的に性能を発揮）であることも特徴である。こうした材料の塑性変形を積極的に利用したエネルギー吸収デバイスのニーズや重要性は今後一層増すことが予想され、低降伏点で伸びの優れた鉄鋼材料の開発も行われてきている。

一方、その形状設計は容易ではなく課題とされてきた。本研究では通常の運転荷重範囲では弾性挙動を示し、異常荷重に対して所望の弾塑性挙動を示すエネルギー吸収デバイスの3次元形状を自動的に求めるための最適化理論と計算機を用いた最適化システムを構築することを目的とする。異常荷重としては地震荷重と衝突荷重を考え、地震荷重では繰り返し弾塑性負荷を与え、衝突荷重では慣性力を考慮した負荷を与える。最適設計のための目的関数には最大荷重やエネルギー吸収量（塑性仕事）等を設計問題に応じて選択可能とする。変分法に基づく分布系形状最適化問題として定式化し、感度関数を理論的に導出し、システムに実装する。試験による検証を行った後、完成したシステムは種々のエネルギー吸収構造やデバイスの形状設計へ応用し、新たなエネルギー吸収軽量構造（デバイス）の創成を図る。

2 研究の目的と背景

地震や衝突のような異常荷重は時折人工物や人に甚大な被害を与える。人や構造物、機械装置をそうした荷重から保護する目的で、材料の塑性変形を利用して外力エネルギーを吸収する構造やデバイスが開発されてきている。しかし、その3次元形状設計は容易でなく、経験や試行錯誤による開発が行われているのが現状である。地震や資源、環境問題の観点から、軽量でエネルギー吸収性能に優れた構造やデバイスの開発に対する社会的ニーズは高い。また、それを経済的、効率的に実現する設計支援システムの開発も設計者から強く望まれている。

る。本研究では構造物や機械装置を地震や衝撃のような異常荷重から保護可能な軽量でエネルギー吸収特性に優れた構造やデバイスの形状設計を実現する形状最適化理論の構築と計算機を利用した最適設計システムの開発を行うことを目的とする。無限自由度の3次元形状設計が可能で、与えられた仮の初期形状から力学的に無駄のない最適形状が創成される。開発したシステムを利用することにより、新たなエネルギー吸収構造やデバイスの開発を効率的に行える。なお、開発する手法やシステムは汎用性を有し、マイクロ構造のMEMSから自動車構造や大型の土木構造物までの適用を可能とする。

3 研究内容

異常荷重に対するエネルギー吸収構造体の最適設計に関する研究
(<http://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Kikai/solid/index.html>)

(1) 問題の定式化：

- ・地震荷重を想定し、構造物に設置されるエネルギー吸収デバイス（せん断パネルダンパー）（ソリッド体）に弾塑性繰返し入力（強制変位）を与え、そのときのエネルギー吸収量（塑性仕事）の最大化を目的とする形状最適設計問題の分布系での定式化を行った。
- ・衝突を想定し、薄板構造が大規模な入力（強制変位）を受けた場合、それによって発生する反力を所望の値へコントロールすることを目的とする形状設計問題の分布系での定式化を行った。

(2) 感度関数の導出：

- ・せん断パネルダンパーの形状最適設計問題に対する感度関数を導出した。
- ・薄板構造の反力コントロールの形状最適設計問題に対する感度関数を導出した。

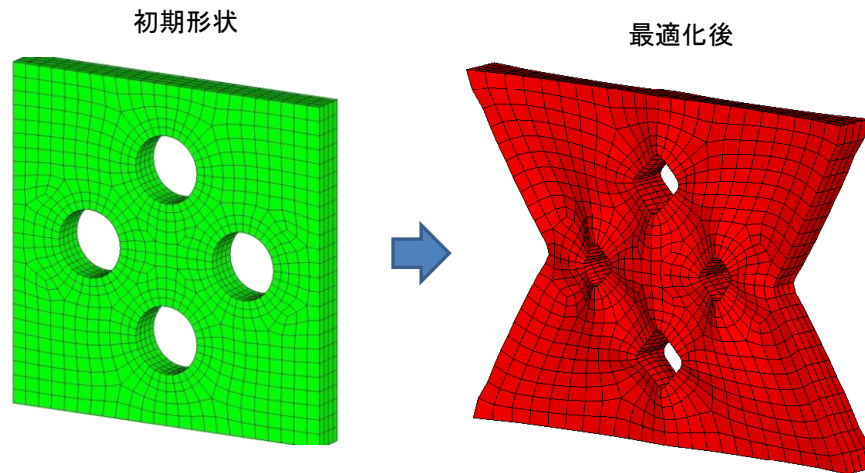
(3) 最適化システムの構築：

- ・ソリッド、薄板構造ともに、外部境界の変動と最適化には関数空間の勾配の利用を検討した。
- ・感度関数の導出結果を用いた最適化システムのプロトタイプをPC上に実装し、検証。
- ・構造解析の部分にはNASTRANとRADIOSS（今回導入）を用い、開発したC言語プログラムと組み合わせたシステムとした。

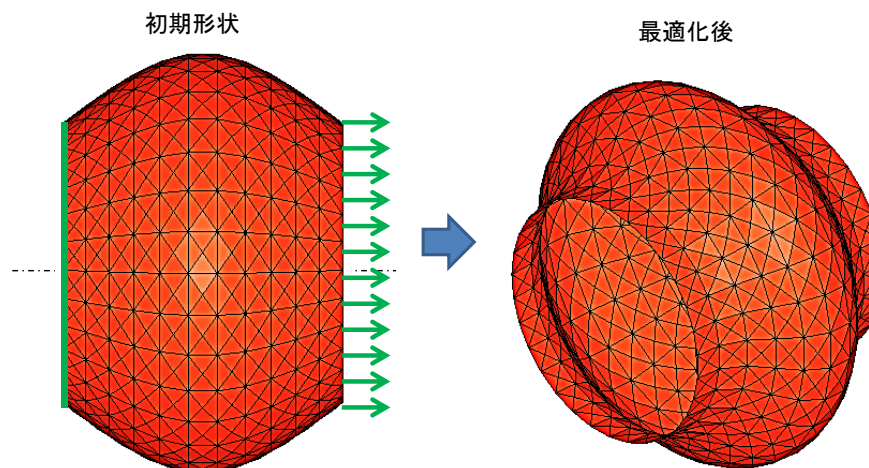
(4) 基本例題への適用：

- ・せん断パネルダンパの基本例題の形状を導入ソフトを用いてモデリングした。
- ・システムの検証を兼ねて、基本例題モデルの最適化解析を実施。

- ・エネルギー吸収量の増加を狙ったせん断パネルダンパの計算例



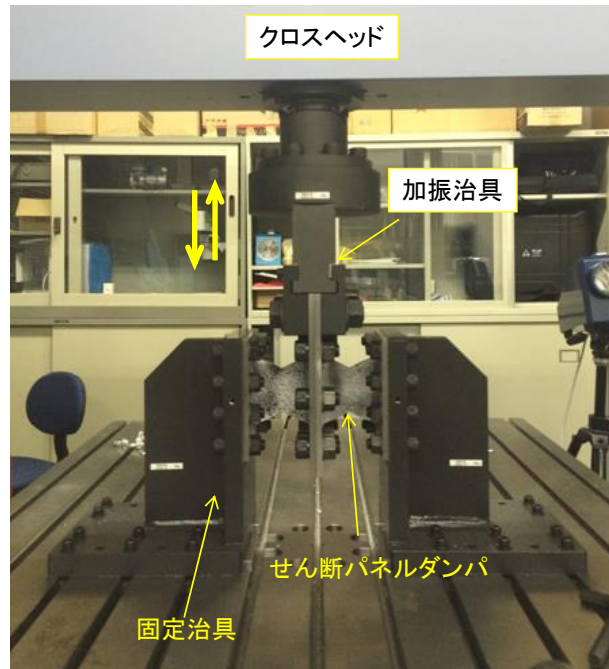
- ・反力の2割低減を狙ったシェルの形状最適化計算例



(5) 供試品、試験治具の製作と検証試験：

- ・検証試験を行うための試験治具の設計と製作を行い、せん断パネルダンパ供試品を機械加工により製作.
- ・地震荷重をモデル化し、それを外力として与える繰り返し弾塑性繰り返し試験（検証試験）を実施.

・せん断パネルダンパの検証実験装置



4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

- ・提案した地震荷重に対するせん断パネルダンパの最適化手法は具体的な設計への応用も可能なため、せん断パネルの実設計に利用されてくるものと考える。
- ・衝突荷重を想定した薄板の反力コントロールを目的とする最適化手法は自動車業界を含む種々の分野における変形荷重のコントロール設計へ応用されてくるものと考える。
- ・地震荷重に対する土木構造用デバイスはせん断型もしくは引張圧縮型制振パネルダンパーがその代表であるが、開発した手法とシステムは汎用性を有しており、土木構造物に限らず、マイクロサイズのMEMSから自動車のボディやサスペンション、機械装置等、保護すべき様々な構造物への応用が可能である。また、鉄鋼材料に限らず、非鉄金属や樹脂材料等、種々の材料へも適用可能となり、軽量でエネルギー吸収特性に優れた構造やデバイスの形状設計へ幅広く応用できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

- ・塑性変形を積極的に利用し、弾塑性挙動をコントロールする形状設計非常に難しく、従来は経験に基づき形状をパラメータ化してその値を適切化する手法のみが利用可能であった。その方法では有効なパラメータの選択が難しい上、得られる特性は極めて限定的であった。これに対し、本研究では形状のパラメータ化不要な手法を開発し、

力学的に自然な無限自由度の3次元自由形状の創成を可能とする。加工硬化と座屈を積極的に利用し、弾塑性領域での大変形挙動をコントロールするための新たな最適化理論と最適化システムの開発は新たな研究である。

- ・材料と幾何学的非線形性を考慮すると共に、繰り返し負荷に対してエネルギー吸収量を最大化、また大規模変形に対して反力をコントロールすることを目的とする形状最適化手法の構築はこれまでにない新たな提案である。変分法をもとに、最適化問題を定式化し、感度関数を理論的に導出していきこと、及び力学的に自然な自由曲面形状が創成されることが大きな特徴である。
- ・繰り返し弾塑性試験を専用の試験機の製作なしで、汎用の引張圧縮試験機で行っており、同様の試験を行う際の参考になると考える。また、計算と実験の両面からアプローチしており、評価は高いと考える。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ・「非線形性を考慮したシェル構造の形状最適化手法」日本機械学会2015設計工学システム部門講演会講演論文集
- ・「繰り返し弾塑性負荷を受ける3次元構造体の形状最適化」日本機械学会第28回計算力学部門講演会講演論文集

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

- ・幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮したシェル構造の形状最適化のための理論と最適化システムを開発
- ・繰り返し弾塑性負荷を受けるソリッド構造体の形状最適化のための理論と最適化システムを開発

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 豊田工業大学工学部 固体力学研究室（トヨタコウギョウダイガク コウガクブ コタイリキガクケンキュウシツ）

住 所： 〒468-8511

愛知県名古屋市天白区久方2-12-1

申請者： 豊田工業大学 教授 下田昌利（シモダマサトシ）

担当部署： 先端工学基礎学科（センタンコウガクキソガッカ）

E-mail： shimoda@toyota-ti.ac.jp

URL： <http://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Kikai/solid/index.html>

