



| | |
|--------------|---|
| Title | 応答曲面法と遺伝的アルゴリズムを組み合わせた積層複合材料の設計手法 |
| Author(s) | 竹田, 憲生 |
| Citation | 大阪大学, 1999, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/41449 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|------------|-------------------------------------|
| 氏名 | 竹田 憲生 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 第14687号 |
| 学位授与年月日 | 平成11年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻 |
| 学位論文名 | 応答曲面法と遺伝的アルゴリズムを組み合わせた積層複合材料の設計手法 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 塙古 勝 |
| | (副査) 教授 豊田 政男 教授 久保 司郎 助教授 藤本 公三 |

論文内容の要旨

本論文は、応答曲面法と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた積層構成の最適化手法の確立を目的としたものであり、全5章で構成されている。

第1章は緒言であり、本研究の背景および研究目的について記述している。

第2章では、GAが積層構成設計に対して果たした役割について述べるとともに、GAを積層構成最適化へ適用する際に必要な基本概念、GAの遺伝的操作(再生、交叉、突然変異)および解析時に必要なGAパラメータの設定について記述している。また、積層構成最適化にGAを適用する際のコード化について考察し、整数を用いたコード化を行った場合、少ない個体数で効率的な探索を行えることを示している。

第3章では、一方向に強化された繊維強化プラスチック(FRP)の積層材から成る構造物に対し、単位体積あたりのたわみを最小とするために、応答曲面法とGAを併用した繊維配向角最適化手法を提案している。応答曲面法は近似精度が解に多大な影響を及ぼす欠点が指摘されているため、近似精度向上のために3つの工夫を試みている。第一は、積層複合材料の剛性を近似する経験式を応答曲面とすること、第二は、主応力に関する経験的情報を利用して最適解近傍の近似精度を向上させること、第三は、最終的な解はGAで確保した候補群の中から選択することである。これらの工夫を施したプログラムを作成した後に、単位体積あたりのたわみを最小とする繊維配向角の決定に提案手法を適用し、手法の妥当性および異方性を積極的に利用した積層構成設計が可能となることを示している。

第4章では、応答曲面を用いた過渡的な熱変形緩和のための積層構成設計手法を提案している。まず、過渡的な熱変形を近似する応答曲面として、リカレントニューラルネットワーク(RNN)および階層型ニューラルネットワーク(NN)を提案し、RNNとNNの構造と学習則について順に記述している。また、NNの汎化能力を向上させるため、先駆情報に基づく適切化法を施している。さらに、ベイズ統計学に基づくモデル選択方法を用いることにより、適切化パラメータの自動調整が可能となることを示している。適用例として、局所的な加熱を受ける矩形板の積層構成設計をとりあげ、手法の妥当性と有効性を確認している。加えて、熱変動を受ける構造に積層材を適用する場合、加熱直後の遷移過程で大きな熱変形が生じるため、過渡的な熱変形を考慮する必要があることを示している。

第5章では、以上で得られた知見を総括し、本論文の結論としている。

論文審査の結果の要旨

一方向に強化されたFRP板を積み重ねて成形した積層材は比強度・比剛性に優れ、かつ強い異方性物性値を有するため、航空機、宇宙機器および自動車関連分野で主構造部材としての適用が増加している。しかし、金属材料と比較して設計自由度が大きく、実験によるデータ収集が困難である。したがって、コンピュータを用いた設計支援システムが望まれている。ただし、設計対象の形状の複雑化および要求特性が非定常特性や動的特性に拡大するにともない、設計に要する計算負荷が問題となる。

本研究目的は、応答曲面法とGAを併用し、実用的な計算負荷での積層構成設計手法を構築することにある。その成果の要約を次に示す。

- (1) 航空機構造用の一方向強化積層材の成形で現在多用されているオートクレーブ成型法では、予め用意した繊維配向角の異なるプリプレッグを任意の順序で積層して成形する。この成形プロセスを考慮すると、選択可能な繊維配向角を何通りかに限定した積層構成の最適化は非常に実用的である。また、このような最適化には組合せ最適化問題の有力な解法であるGAが有用である。そこで、提案手法ではGAを用いて積層構成の最適化を行うが、積層構成のコード化が重要となるので、まず整数コード化を行えば、少ない個体数で効率的な探索となることを1個体あたりに含まれるスキーマ数に着目して証明している。
- (2) 積層複合材料から成る構造物の剛性設計に対し、応答曲面法と遺伝的アルゴリズムを併用した積層構成設計手法を構築している。ただし、応答曲面法では近似精度が解に多大な影響を及ぼす欠点を有する。そこで、近似精度を改善するために、積層複合材料の剛性を近似する経験式を材料力学的な考察から導出して応答曲面とすること、主応力分布に基づく経験的情報を利用して大域的領域の近似と同時に最適解近傍の近似精度を向上させること、最終的な解をGAで確保した候補群から選択することなどの工夫を施している。
- (3) 手法の妥当性を検証するため、一様分布荷重が作用する矩形板の剛性設計に適用し、最終的な解を候補群から選択することにより得られる解が改善されること、主応力分布を情報源とした事前情報を応答曲面の生成に反映させることにより最適解近傍の近似精度が向上することを示している。さらに、三次元形状を有するシェル構造物のねじれ抑制のための設計に提案手法を適用し、積層材特有のクロスエラスティシティ効果を利用するにより、軽合金材料と比較して更に軽量でねじれを抑制できることを示している。
- (4) 積層材の熱変形が問題となる構造物を想定し、応答曲面を用いた熱変形緩和のための積層構成設計に構築した手法の適用を図っている。過渡的な熱変形を考慮するためには、非定常熱伝導解析および熱変形解析の両者が必要であるが、過渡的な熱変形を近似する経験式の導出は困難である。そこで、柔軟な写像表現が可能なRNN及びNNを用いて応答曲面を作成する新たな手法を確立している。また、NNを用いた場合、汎化能力が問題となるが、先駆情報に基づく適切化法を適用することにより、汎化能力の優れたNNによる応答曲面を実現できることを示している。さらに、ベイズ統計学に基づくモデル選択方法を適用し、適切化パラメータを自動調整する方法についても検討している。
- (5) RNNおよびNNの汎化能力を検証するため、繊維配向角が同一のプリプレッグシートで構成された矩形板が局所的に加熱される場合を想定し、過渡的な熱変形をRNNおよびNNに学習させ、RNN、NNともに学習データとほぼ同様の精度の汎化能力を有することを確認している。さらに、同一の繊維配向角を有する単層板2枚を重ねた矩形板が局所的に加熱される例題に対して提案手法を適用し、一方向強化FRPを構成材料とする場合は過渡的な熱変形を考慮した積層構成最適化が必要となることを示している。

以上のように、本論文は、積層複合材料から成る構造物形状の複雑化および要求特性の多様化に対応可能な積層構成設計手法を構築したものである。特に、応答曲面の近似精度を向上させるため、応答曲面として用いる近似関数および応答曲面生成のために用いる入出力データ対の選択方法の両者について様々な試みを行っている。また、本論文の内容は、対象とする問題に関する事前情報の積極的利用が工学的問題の解決に貢献することを示しており、生産科学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。