

## 学位論文の要旨

氏名

永田 洸大

学位論文題目

優良解探索群知能解法の提案と  
形状・板厚・開口を同時考慮した RC 自由曲面シェルの構造形態創生

本論文は、構造最適化において多様性ある複数形態を獲得する新たなアルゴリズムの提案と、RC自由曲面シェルに対して形状・板厚・開口を同時に考慮した構造形態創生手法の有効性についてまとめたものである。

第1章は、RC自由曲面シェルにおいて開口部が一つの重要な設計条件であることを示し、従来の構造最適化において扱われている形状・板厚と同様に設計変数として扱うことが望ましいことを説明した。また、力学と形状に強い関係性を有する構造形式に対する形状最適化は多様性を維持した解探索が必要なことを述べ、本研究で用いる解法の内容を説明した。

第2章は、構造最適化の解法として既に提案されている手法を整理した。特に、自然界の生物の振る舞いより発想を得ている発見的手法に着目し、中でも最近注目されている群知能解法の位置付け、特徴と計算アルゴリズムを示した。また、様々な手法が提案されている群知能解法のうち、本論文で採用したPSO(Particle Swarm Optimization)とABC(Artificial Bee Colony)に着目した妥当性を説明した。

第3章は、本論文で獲得目標とする優良解について、単一・多目的最適化問題における優良解の定義と優良解活用の有意性を示し、群知能解法を基幹部とした優良解探索の新たなアルゴリズムを提案した。探索集団のクラスタ化、上位探索点の選択、解候補群の保存による優良解探索の基本的な発想が既に示されており、それらをPSOとABCに適応させて新たな優良解探索解法を提案した。

第4章は、有限要素法におけるシェル要素のうち、Kirchhoff要素とMindlin要素(MITC要素)の離散化定式化とシェルの形態表現に採用するパラメトリック曲面について説明した。特に、有限要素の分割数、シェル要素の違いが形態解析において与える影響を明確にし、構造最適化においてパラメトリック曲面の制御点数が形状表現自由度に関係することを数値計算例により示した。さらに、四辺形シェル要素に対する開口部表現方法と形態解析を安定化させる条件を提案した。また、構造最適化で得られた解に対して、構造安定性を評価する方法としてロバスト性判定手法を示し、パラメータ設定法について検証した。

第5章は、RC自由曲面シェル構造の基礎的な形状最適化問題として、矩形対称平板を解析参照モデルとした単一・多目的最適化問題に提案した2つの優良解探索解法を適用した。設計変数にはシェル形状と板厚を設定した。数値結果より、提案解法のパラメータ特性とそれぞれ異なる解探索の特徴を有している点について整理し、目的関数を様々変更した場合に得られる形態の特性について、大域的最適解やパレート最適解との比較により明確にした。さらに、Kirchhoff要素だけでなく、MITC要素の採用による最適解探索や順解析による形態解析比較を行い、シェル要素の選択が構造最適化に与える影響を検証した。

第6章は、シェル形状・板厚に加えて、開口部を考慮したRC自由曲面シェルの構造最適化問題を提案した。開口形状は幾何学的形状と任意形状の2ケースを想定して、それぞれ大域的最適解形態と優良解形態の比較を行った。得られた結果より、開口部考慮の構造最適化の有効性を示すと共に、開口部を設計変数とすることによる解の収束性の問題と開口部周辺の応力過剰となる問題点を明らかにした。これらの問題に対して、解法のアルゴリズムの改良方法、新たな制約条件の導入を提案した。提案手法を導入した数値計算例より、目的関数値、曲げモーメント、引張応力が低減された形態の獲得が可能であることを示した。さらに、複数の優良解を同時に獲得するための目的関数を設定した新たな構造最適化問題の定式化を提案した。数値計算例として、矩形平板モデルだけでなく任意形状の境界部を有する解析参照モデルを設定し、従来解法で得られる解との比較により優良解探索の有意性を示すと共に、提案した構造最適化問題の有効性について明らかにした。

第7章は、本研究で得られた結果を基に、新たに提案した優良解探索解法の特性および形状・板厚・開口を同時考慮したRC自由曲面シェルの構造最適化の有効性について総括した。さらに、種々の最適化問題に対する各優良解探索解法の適用性を示し、複数の優良解探索解法の使い分けについても述べた。

## Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Proposal of Swarm Intelligence with Decent Solutions Search and

Structural Morphogenesis for RC Free Form Surface Shell with Shape, Thickness and Opening

Name: Nagata Kodai

This paper summarizes proposal of new algorithms obtaining various forms with diversity in structural optimization and effectiveness of structural morphogenesis for RC free form surface shell with shape, thickness, and opening.

Chapter 1 shows opening is an important design condition for the RC free form surface shell, and it is desirable to treat opening as a design variable similarly to the shape and shell thickness applied to conventional structural optimization. In addition, the shape optimization for structural form having a strong relationship with the mechanical behavior and the shape is necessary to maintain diversity of solutions search, and concept of the solutions search method used in this study is explained.

Chapter 2 organizes a past methods have been proposed as solutions search method for structural optimization. Heuristic methods which are getting inspired by a behavior of living creatures in nature are focused. Especially, the features of computational algorithms for the swarm intelligence increasing attention in recent are shown. In addition, among the swarm intelligence in which various methods have been proposed, PSO (Particle Swarm Optimization) and ABC (Artificial Bee Colony) adopted in this paper is explained about the validity paying attention.

Chapter 3 shows definition of decent solutions in single- and multi-objective optimization problem and significance of using the decent solutions, and new algorithms to search the decent solutions using PSO and ABC are proposed. The basic idea of clustering technique, selection of high-ranking particles and preservation of solution candidate particles has already been shown, and they were adapted to PSO and ABC.

Chapter 4 explains discretization formulation for Kirchhoff element and Mindlin element (MITC element) as shell elements in finite element method and parametric surface as a shell form representation. Especially, it is clarified that the influence of finite element divisions and difference of shell elements in structural analysis. In structural optimization, it is shown that the number of control points of parametric surface is related to shell shape representation by numerical calculation example. In addition, a method of expressing openings and stabilizing structural analysis for quadrilateral shell elements is proposed. Furthermore, for the solution obtained by the structural optimization, a robustness judgment method as a method to evaluate the structural stability is shown, and how to set the parameter is examined.

In Chapter 5, as a basic shape optimization problem of RC free form surface shell structure, two proposed decent solutions search methods are applied to single- and multi-objective optimization problem with a rectangular symmetric flat plate as an analysis reference model. The shell shape and thickness are set as design variables. From numerical results, the property of solution search which are different from the parameter characteristics of the proposed methods are shown. In addition, the characteristics of obtained forms for various objective functions were clarified from comparison of the global optimal solution or Pareto optimal solutions. Moreover, effect of shell elements selection is examined by comparison with obtained forms by structural optimization and structural analysis using not only the Kirchhoff element but also the MITC element.

In Chapter 6, structural optimization problem for RC free form surface shell with opening in addition to the shell shape and thickness is proposed. The geometric and arbitrary shapes are assumed as an opening shape, and the global optimal solution form and decent solutions forms are compared. From the obtained results, effectiveness of structural optimization for RC free form surface shell with opening is shown, and the problem for convergence of solution search by setting an opening as design variables and for excessive stress around an opening is clarified. To solve these problems, an improving algorithm of solution search methods and new constraints are proposed. From numerical results, it is shown that these proposal methods can obtain forms more reducing objective function value, bending moment and tensile stress. In addition, a new structural optimization problem setting objective functions to obtain various decent solutions at the same time is proposed. As the analysis model, not only rectangular flat plate model but also the model having a boundary part of an arbitrary shape is set. From numerical results, significance of the proposed decent solutions search methods is shown by comparison with the solution form obtained by a conventional method, and the proposed structural optimization problem is verified about effectiveness.

Chapter 7 summarizes characteristics of new proposed decent solutions search methods and effectiveness of structural optimization for RC free form surface shell with shell shape, thickness and opening at the same time by the obtained results in this study. Furthermore, the applicability of each best solution search method for various optimization problems is shown, and how to use of multiple decent solutions search methods is described.