

学 位 論 文 の 要 旨

氏 名

沖 田 裕 介

学位論文題目

優良解探索遺伝的アルゴリズムによる
非一様有理Bスプラインを用いた自由曲面シェル構造の形態創生

本論文は、非一様有理Bスプライン(NURBS)で表現する自由曲面のRCシェルおよびグリッドシェルの構造形態創生において、解の多様性を考慮した遺伝的アルゴリズム(genetic algorithm: GA)系解法ISGA (GA with immune system)を適用し、得られる解形態の特性をまとめたものである。

第1章は、自由曲面シェルに代表される空間構造の形態が意匠性と力学的合理性に強く影響することから、最適化の考えに基づく構造形態創生が有効な設計手法の一つであり、中でも解の多様性を考慮した手法は設計者への発想支援に繋がる可能性を述べた。許容解の内、大域的最適解と局所最適解を含む比較的評価の高い解である優良解の獲得を目指す場合、自由曲面形状を表現するパラメトリック曲面の特性、およびシェルの構造形式の違いが優良解形態に及ぼす影響を把握することの重要性を説明した。

第2章は、構造解析に用いる有限要素法における梁要素とシェル要素の離散化定式化を示した。さらに、RCシェルとグリッドシェルの構造形態創生における許容応力度制約について述べた。

第3章は、シェルの形態表現に用いるパラメトリック曲面について説明した。代表的なパラメトリック曲面のうち最も自由度の高いNURBSを採用し、そのパラメータの設定によって表現される形状が異なることを示した。解形状に対する特徴を定量的に示すため、曲率から算定する指標を定義し、単純な曲面に適用した計算例より湾曲の強弱を表現する指標であることを説明した。

第4章は、優良解の定義とISGAの探索概念を述べ、解の探索状況の指標である多様度指数を定義した。さらに、本論文で採用するNURBSで表現する自由曲面シェルの形態創生アルゴリズムについて説明した。

第5章は、自由曲面グリッドシェルの形状・部材断面同時最適化の単一・多目的最適化問題にISGAを適用した。解析モデルは、1m間隔格子状配置、2m間隔格子状配置、および対角状配置の3種類の部材配置モデルを対象とし、各々、NURBSパラメータの階数設定値を変化させた結果を示した。得られた結果より、軸力抵抗機構の形成特性が部材配置方向および密度に依存するため、優良解の傾向が異なる。NURBSパラメータの設定値は、優良解形態の湾曲の強弱に影響し、階数を小さく設定するほど、強く湾曲する形状が含まれ、また、形状のバリエーションに富む結果を得た。

第6章は、自由曲面RCシェルの形状・板厚同時最適化の単一・多目的最適化問題にISGAを適用した。応力制約条件は、鉄筋の許容応力度を考慮した曲げ耐力と、ひび割れ曲げ耐力の2種類のケースに適用し、各々、NURBSパラメータの階数設定値を変化させた結果を示した。制約条件を厳しく設定することで解の多様性を低減させるが、側面制約条件(板厚範囲)を力学的に有利な設定に変更することで、応力制約条件導入前と同等の多様な解形態が得られることを示した。NURBSパラメータの設定値は、優良解形態の湾曲の強弱に影響し、階数を小さく設定するほど、強く湾曲する形状が含まれ、また、形状のバリエーションに富む結果を得た。

第7章は、第5章と第6章で得られた解の形状比較より、構造形式および部材配置が異なることで得られる優良解形態の差異について考察した。各構造形式における結果比較より、他方の構造形式では比較的得られにくい特有の優良解形態が存在することを示した。

第8章は、本論文で得られた結果を基に、NURBSで表現する自由曲面のRCシェルおよびグリッドシェルの構造形態創生において得られる優良解形態の特性について総括した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Structural Morphogenesis for Free-Form Surface Shell Using Non-Uniform Rational B-Spline
by Genetic Algorithms with Manipulation of Decent Solution Search

Name: Yusuke Okita

This paper summarizes the characteristics of solution forms for the structural morphogenesis for free-form RC shell and grid shell obtained by genetic algorithms with immune system (ISGA) considering the diversity of solution. Free-form shells are described with non-uniform rational basis spline (NURBS) representation.

Chapter 1 explained the use of decent solutions to be sets of rational structural form will stimulate the idea of an architectural designer and a structural engineer. The decent solutions have comparatively high evaluation containing a global optimal solution and local optimal solutions, and maintain diversity of solution on the design variable space. The importance of clarifying the influence of structure types and parametric surface on decent solution forms is explained.

Chapter 2 explained discretization formulation for beam and shell elements in the finite element method. In addition, stress constraints on structural morphogenesis for grid shell and RC shell are explained.

Chapter 3 explained parametric curved surface used to represent free-form shell. In this paper, NURBS is adapted because of its high flexibility, and it is shown that the represented forms depend on the setting of its parameters.

Chapter 4 explained definition of the decent solution and the search concept of ISGA, and diversity index of search conditions of decent solutions was defined. In addition, the algorithm of structural morphogenesis for free-form shell with NURBS representation was explained.

In Chapter 5, ISGA is applied to single- and multi-objective optimization problem for free-form grid shell with following three types of grid member arrangement models: 1 m interval grid arrangement, 2 m interval grid arrangement, and diagonal arrangement. The shell shape and member selection are set as design variables. The results of changing the order setting value of NURBS parameter are shown for each. From numerical results, tendency of the decent solution forms is different because characteristic of mechanical behavior depends on the member arrangement direction and density. NURBS parameter settings affect strength of curvature of decent solution forms. The smaller order of NURBS was set, more strongly curved shapes were included, and more variation shape was obtained.

In Chapter 6, ISGA is applied to single- and multi-objective optimization problem for free-form RC shell. The stress constraints were applied to two types of cases: bending strength considering the allowable stress of reinforcing bar and crack bending strength. The shell shape and thickness are set as design variables. The results of changing order setting value of NURBS parameter are shown for each. It was shown that diversity of solution forms is reduced by setting strict constraints, but various solution forms can be obtained by changing side constraints (plate thickness range) to mechanically advantageous settings. The smaller order of NURBS was set, more strongly curved shapes were included, and more variation the shape was obtained.

In Chapter 7, the characteristics of decent solution forms obtained by different structural types and member arrangements are considered from shape comparison of solutions obtained in Chapters 5 and 6. From the comparison of the results, it is shown that the unique decent solution form can be obtained in each structural form.

Chapter 8 summarizes the characteristics of decent solution forms obtained by structural morphogenesis of free-form RC shell and grid shell using NURBS by obtained results in this study.