

## 学位論文の要旨

氏名

和田 大典

学位論文題目

遺伝的アルゴリズム系解法による鉄骨造構造物の構造形態創生と最適設計

本論文は、鉄骨造における遺伝的アルゴリズム系解法を用いた構造形態創生法の活用方法として最適設計法を提案と、実適用例を含む建築構造物へ最適設計を実践し提案手法の有効性についてまとめたものである。

第1章は、研究背景・目的について説明した。デジタルデザインツールの普及に伴う建築設計における設計条件の多様化、複雑化に対し、構造形態創生による設計支援ツールとしての可能性と問題点を整理した。さらに、デジタルデザインツールを活用した設計方法の確立と形態実現性を考慮した評価指標の重要性を示した。

第2章は、本研究で提案する構造形態創生法を活用した最適設計法について説明した。対象構造物は鉄骨造建物とし、耐震設計における構造物の要求性能を整理すると共に二段階の評価で形態決定を行う最適設計法内での構造形態創生法の役割を明確化した。次に、最適設計内で扱う外力条件、部材耐力や構造物の評価指標について整理し、解の二次評価にて扱う線形座屈解析の定式化やロバスト評価手法の内容を示した。また、曲面構造における製作・施工性を考慮した評価指標を耐震設計の中で扱う指標の一つとして提案し、定式化を示した。

第3章は、構造最適化問題の定式化と本研究で採用する最適化手法について説明した。構造最適化は単一・多目的最適化問題を扱い、各最適化問題において、大域的最適解を含む比較的评价の高い優良解にまで探索範囲を広げて、解を利用していくことの重要性を示した。また、既往の構造最適化手法を整理し、本研究で用いる遺伝的アルゴリズム系解法SGA, SPEA2, ISGAの位置づけ及びその計算アルゴリズムと各解法の特徴を説明した。

第4章は、数値計算を行うに当たり、骨組構造の離散化定式化について示した。構造解析は有限要素法とし梁要素を用いる。また、曲面構造においては曲面と部材断面の表現にパラメトリック曲面を採用する。これに際し、節点情報と要素情報に対応したパラメトリック曲面の定式化と最適化内での扱いについて説明した。

第5章は、各遺伝的アルゴリズム系解法を用いた構造形態創生と最適設計例として離散系構造の例を示した。扱う構造モデルはアーチフレーム、平面トラスフレーム、ラーメンフレームであり、問題に応じた構造最適化手法の選択から最終的な形態決定に至るまでの設計手順を示し、設計例を通して構造形態創生法の設計支援ツールとしての有効性を確認した。まず、単純遺伝的アルゴリズムSGAの実建物への適用事例として円筒形状を有する曲面骨組構造の最適設計例を示した。ここでは、デザインと構造合理性の同時最適化した構造形態の決定に、意匠設計者のデザイン条件に着目した制約条件を設定した単一目的最適化を提案し最適設計法を適用した。さらに、形態決定から建物の実現に至るまでの製作・施工内容についても説明した。次に、多目的最適化の基本問題として単純な平面トラスフレームを用いた最適設計例を示した。構造設計における基本的な問題として部材断面の最小化問題を設定し、経済設計に対する最適設計の有効性を確認した。最後に、低層建物を想定した骨組構造の設計に構造形態創生法を活用した例を示した。具体的な建物の設計に対して、機能を想定した目的関数と独自の形態生成ルールを提案し、機能性と構造合理性を考慮した構造形態創生により設計支援につながる種々の形態が獲得できることを確認した。

第6章は、対象モデルを空間構造へ発展させ、鉄骨格子シェルの構造形態創生と最適設計例を示した。空間構造の実設計へ構造形態創生法を活用していく上で、製作・施工性に関する評価指標を提案し、製作・施工性を改善させた曲面構造形態の設計手段として最適設計法を適用した。まず、基礎問題を設定し、数値解析結果より本評価指標が目的関数および制約条件として活用できること及び得られた解形態の製作・施工性に関する形態的特徴について考察した。次に、ロバスト判定解析を利用した製作・施工性に関する評価指標のロバスト性判定方法についてパラメータスタディを行い、力学指標に加え製作・施工性に関するロバスト判定が同時に行えることを示した。さらに、解析モデルを任意平面形状に拡張し、基本問題にて得られた知見を基に最適設計法を適用させた。本提案手法の適用により意匠性・力学合理性・製作・施工性・構造安定性と種々の設計条件を総合的に満足した構造形態が獲得できることを示し、空間構造における設計支援ツールとしての構造形態創生法の有効性を確認した。

第7章は、2-4章での提案を受けて第5,6章で示した最適設計例から、結論をまとめた。

## Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

### Structural Morphogenesis for Steel Frame Structures by Using Genetic Algorithms and Its Applications to Structural Design

Name: Wada Daisuke

This thesis mainly shows the optimization design method for steel frame structure buildings that utilized structural morphogenesis using genetic algorithms, and the effectiveness of the optimization design method is clarified by applying this method to some structural models.

Chapter 1 describes the background and purpose of this study. It is explained the possibility that structural morphogenesis is effective design support tool against diversification of building design for a spread of digital design tools. Furthermore, the importance of both establishment of design methods tool using structural morphogenesis and evaluation function about structural feasibility is showed.

In Chapter 2, a optimization design method using structural morphogenesis is proposed. Target buildings are steel frame structures. It is summarized a requirement performance of steel frame structures in seismic design and a role of structural morphogenesis in optimization design method that make form decision by two-step evaluation is clarified. Next, Evaluation function using optimization design for building structure, for example design load, allowable stress design are showed, Robustness analysis and liner buckling analysis are also formulated which are mainly used second evaluation step. In addition, the evaluation function considering a manufacturing and a constructability of curved surface structure that can be used as one of the function handled in structural design is formulated.

Chapter 3 described the formulation of the structural optimization problem and the structural optimization method using in this study. In this study, single and multi-objective optimization problem are applied structural morphogenesis. Then a characteristic of solutions obtained each optimization problems is explained and a importance for structural design to using obtained solutions including not only global optimal solution but also decent solutions that have comparatively high evaluation is showed. A calculation algorithm and its characteristics of the genetic algorithm methods SGA, SPEA2 and ISGA using in this study are also explained.

Chapter 4 shows discretization formulation for the frame structure. A structural analysis is a finite element method by beam element. In addition, a technique expressing curved surface structure and each member area by using a parametric surface is explained.

Chapter 5 presents a optimization design analysis for steel frame structure by using the three type of genetic algorithm methods. Analysis models use arch model, two dimensions truss frame and rigid frame. It is showed a design procedure from choice of structural optimization method depend on problem and setting of a structural optimization problem to decision of structural form. In numerical results, it is confirmed the effectiveness as the design support tool of structural morphogenesis method. At first, the optimization design of curved surface structure having a tunnel shape that is applied with the single objective optimization problem shows. The target building of which the structural design was decided by the numerical results was constructed in 2015. On a decision of structural design that satisfied both of the design and the structure, optimization design method using single objective optimization of which the limitation condition is paid attention to design condition by the designer is applied. In addition, the production and construction contents before form decision to the realization of the building are explained. Next, the optimization design of two dimensions truss frame structure as a basic problem of the multi-objective optimization is showed. Optimization problem sets total member area minimization problem as basic problem in structural design and confirmed the effectiveness of the optimization design method for the economic design. Finally, the design of rigid frame structure assumed a low-rise building that is applied structural morphogenesis is showed. In a design of low-rise building, new objective function about building planning and original form expressing role are proposed. These analysis results show that proposed optimization design method can be obtained various structural form that satisfied the plan, the structure, and some design conditions. Obtained structural form by structural morphogenesis can be utilized for structural design by using optimization design.

Chapter 6 presents a structural morphogenesis and optimization design analysis for steel frame grid shell structure. In this analysis, evaluation function considering a manufacturing and constructability is suggested as objective function or design condition in structural optimization problem, and optimization design method is applied to form decision of curved surface structure as design tool that can be used to obtain structural forms that are improved the manufacturing and constructability factor about curved frame construction. First, basic problem is set. In numerical results, it is clarified that this proposed function can be used as the objective function or design condition in structural optimization problem and discussed about geometric features of solutions obtained by this function minimization problem or set this function as constraint condition. Next, parameter study about judgement of robustness concerning this function is performed and it is showed that the robustness both of the structure and the constructability can be calculated at the same time. Furthermore, the analytical model is set a free surface shape model. Optimization design method is applied based on the finding obtained in the basic problem. Numerical results show that it is possible to obtain a structural form that satisfied various design conditions for example the design, the dynamics rationality, the production, the constructability and the structural stability. It is confirmed the effectiveness of optimization design that using structural morphogenesis as design support tool of grid shell structure.

In Chapter 7, a conclusion of this study is summarized in the results of optimization design that is showed at 5 and 6 chapters using the suggestion in 2-4 chapters.