

Date of Submission (month day, year) : 1/12/2018

Department Department of Architecture and Civil Engineering	Student ID Number D159501	Supervisors Shoji Nakazawa Taiki Saito Yukihiro Matsumoto
Applicant's name Yuji Takiuchi		

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Study on Design Method of Free-Form Reticulated Shell Structures Considering Buckling and Vibration (座屈と振動を考慮した自由曲面ラチスシェルの設計法に関する研究)
-----------------	---

Approx. 800 words

Reticulated shell structures are constituted by arranging elongated members in a mesh form, and one of the typical structures of a spatial structure. In general, its buckling and vibrational properties are complicated, and it is known that the mechanical properties change drastically depending on the shape of the shell. For this reason, mechanical properties and design methods have been studied one by one for each shape of a dome, a cylinder, a hyperbolic paraboloid by many researchers. And simple design methods are being established. On the other hand, due to the development of 3DCAD, construction techniques, and morphogenesis techniques in recent years, a shell with a complicated geometry called free-form reticulated shell has attracted attention. The number of cases where the free-form reticulated shell is used for designing sports arenas, museums, and commercial facilities is increasing. However, there are many unexplained points about the structural performance and the ultimate strength of the free-form reticulated shells. Therefore, in practice, it is necessary to perform so many FEM analyzes considering material nonlinearity and geometrical nonlinearity as opposed to a spherical dome, etc. And it is required to construct a simple design method.

From the above background, in this research, buckling behavior and seismic responses are investigated as a fundamental research for establishing the structural design method of the free-form reticulated shell structures. In addition, optimization methods considering buckling and seismic response to determine the shape of reticulated shell structures are proposed. The content of each chapter is summarized as follows.

The content of each chapter is summarized as follows.

In the 1st chapter, the background and objectives of this study are described.

In the 2nd chapter, the buckling behavior and the seismic responses are investigated. The shape of the reticulated shell roof is determined by shape optimization analysis aiming at minimizing the stress against the dead load. The elastic buckling analysis and the elasto-plastic buckling analysis are carried out in consideration of geometrical imperfections. It is clarified that the evaluation method for ultimate strength proposed for domical and cylindrical reticulated shells can be applied to the free-form reticulated shell. In the dynamic behavior, a large vertical displacement is observed against the horizontal earthquake input, and the necessity of the shape optimization method considering the earthquake was confirmed.

In the 3rd chapter, a shape optimization method that maximizes the buckling strength of free-form reticulated shell structures. Specifically, maximization of the estimated value of buckling strength applying the evaluation method investigated in the 2nd chapter is proposed. In addition, maximization of the initial yield load is also proposed. The strain energy minimization and the linear buckling load maximization proposed past research are carried out respectively. These optimization analyzes are performed using genetic algorithms. From the comparison of the ultimate strength of the shapes obtained by the four optimizations, it is clarified that the proposed method has good performance.

In the 4th chapter, the seismic responses of free-form reticulated shells are investigated by paying attention to the response of only the roof structure. The shape optimization method

considering the seismic load is proposed. From the time history analysis of the obtained shape, the validity of the proposed optimization method is confirmed. Furthermore, design problems are clarified considering the critical deformation of the members.

In the 5th chapter, the seismic responses of the free-form reticulated shells supported by the substructure are analyzed. The shape of roof structures are generated by two kinds of shape optimization. One is generated by minimizing the strain energy with respect to the dead load, and the other is generated by solving the two objective optimization problem for the dead load and the horizontal load. Then a method for calculating a static seismic load simulating the elastic response of the structure with two dominant vibrational modes is proposed. The dominant vibrational mode is analyzed from eigenvalue analysis. The accuracy of the proposed method is discussed from the comparison of static analysis using the seismic load and time history response analysis.

In the 6th chapter, the summary of the present study is described.

平成 29年 1月 12日

建築・都市システム 学専攻	学籍番号	第 159501 号	指導教員	中澤 祥二
氏名	滝内 雄二			齊藤 大樹
				松本 幸大

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	座屈と振動を考慮した自由曲面ラチスシェルの設計法に関する研究 (Study on Design Method of Free-Form Reticulated Shell Structures Considering Buckling and Vibration)
---------	---

(要旨 1,200 字程度)

大きな無柱空間を覆う構造形式の一つとして、細長い部材を網目状に配置して曲面を構成するラチスシェル構造がある。一般にラチスシェルは座屈や耐震設計においてその挙動が複雑であることが知られ、シェルの曲面形状によってその大きく変化することが知られている。このため、これまで球形、円筒、HP といった形状ごとにその力学的性状や設計法の研究が進められ、簡易な計算を基に座屈耐力や耐震性能を評価する設計手法が確立しつつある。一方、近年の 3DCAD や BIM などの発達に支えられ、複雑な曲面形状を有する自由曲面ラチスシェルに注目が集まり、建設事例が増えている。しかしながら、自由曲面ラチスシェルの構造性能については不明な点が多く、構造検討では材料非線形性や、幾何非線形性を考慮した FEM 解析を多数行う必要があり、簡易な設計手法の確立が求められている。

以上の背景より、本研究では自由曲面ラチスシェルの構造設計法確立のための基礎的な研究として、座屈挙動、地震応答に対する検討方法、さらに日本のような災害が多発する地域での自由曲面ラチスシェル形状の決定方法の提案が本論文で行われている。本論文の内容は、全 6 章により構成されている。各章の要約を以下に示す。

第 1 章では、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、固定荷重下の応力最小化を目的として自由曲面ラチスシェルを形状最適化により生成し、得られた形状に対して座屈性状、地震応答性状を分析した。座屈解析より既往の球や円筒形状のラチスシェルに用いられる座屈耐力評価手法が自由曲面に対しても適用可能であることを示した。また、地震応答解析からは水平方向の地震入力に対して過大な鉛直変位が発生することを確認し、地震の多い地域での設計では地震を考慮した形状決定や構造設計手法の必要性を確認した。

第 3 章では、ラチスシェルの座屈耐力を最大化する手法を提案した。具体的には 2 章で確認した耐力評価法を用いた耐力の推定値最大化と、初期降伏荷重の最大化を提案した。既往の研究で提案された手法と提案手法の座屈耐力の比較より、耐力の推定値最大化が優れた性能を有することを明らかにした。

第 4 章では、自由曲面ラチスシェルの地震応答性状について、屋根部のみでの応答に注目して検討した。地震荷重を考慮したラチスシェルの形状最適化手法を提案した。得られた形状の地震応答解析より提案手法の妥当性を確認するとともに、部材の限界変形の分析より設計上の問題点を明らかにした。

第 5 章では、下部構造を有する自由曲面ラチスシェル地震応答性状を分析した。固有振動解析から 2 個の卓越モードを有している形状について静的地震荷重の算出方法を提案し、地震応答解析からその精度を明らかにした。

第 6 章では、本研究を通して得られた結果を総括し、今後の研究課題を示した。