

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：23903
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21K04357
研究課題名（和文）高耐震性能・省資源な自由曲面ラチスシェル構造物の形状設計法の構築とその応用
研究課題名（英文）Development and Application of Form-Finding Method for Free-Form Reticulated Shell Structures with High Seismic Performance and Resource Saving
研究代表者
木村 俊明（Kimura, Toshiaki）
名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・准教授
研究者番号：60816057
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：施工性を考慮したラチスシェル屋根構造の形状最適化と耐震性能を向上させる支持構造のブレース配置の最適設計手法を構築した。施工性としてラチスシェルの接合部の母材のとりつき角度（接合角）に着目し、接合角を分類しながら形状探索を行う手法を構築した。また、耐震性能を向上させるために、ラチスシェル屋根の水平・上下動応答値を目的関数とする多目的最適化を通して支持構造物のブレース配置を制御した。この他にも空間構造物の構造最適化になじみのない構造設計者にも利用可能な設計ツールを作成し、積層造形を使って構築した設計解のモックアップにて、構造性能・施工性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、複雑な形状についても初期段階で施工性を予め考慮して合理的に設計を行うことに寄与できると考えられる。特に省資源化を考慮するためには有効である。また、耐震性能を向上させる設計解を構造最適化技術で効果的に探索することにより、設計業務の効率化に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：Novel methods for optimizing the geometry of a reticulated shell structure with constructability and the bracing arrangement of the support structure for seismic performance are proposed. The obtained shell is optimized by classifying the joint angle of the member (the articulated angle) of the reticulated shells. Further, in order to improve the seismic performance, the brace arrangement of the support structure is controlled through multi-objective optimization using the horizontal and vertical response values of the reticulated shell roof as the objective function. In addition, a design tool that can be used by young structural designers is created, and structural performance and constructability are verified using a mockup of the solution constructed using additive manufacturing.

研究分野：構造・材料

キーワード：構造最適化 鉄骨ラチスシェル屋根構造 下部構造 形状最適化 構造設計

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ラチスシェル屋根構造をはじめとする大スパン構造物は形と力が密接した関係にあり、構造形態が建築物の造形に影響を与える。そのため、設計において力に応じた適切な形を選択する必要がある。また、災害時に避難場所として機能するために、高耐震化することも望まれる。さらに近年では省資源化が進み、環境負荷低減を志向する傾向にある。設計要求は多岐に渡り、構造設計者は限られた時間で慎重かつ迅速に設計判断することが求められている。近年、計算環境や解析技術が高度化し、複雑で大自由度な構造物の非線形解析や構造最適化が可能となった。反復的な検討作業に対して構造最適化技術を効果的に使い、設計業務を効率化した分を設計判断の時間に充てることができる。さらに、デジタル・ファブリケーション技術も飛躍的に進歩しており、複雑な部品が省資源で製造可能となり、設計自由度は今後さらに広がりを見せると予想される。

2. 研究の目的

本研究は、自由曲面ラチスシェル屋根構造物を対象とし、地震応答低減を可能とする剛性・耐力分布と複雑形状の施工性を向上させる構造形態の獲得を最適化により求め、設計者が建築デザインその他、施工計画まで一体的に考慮して空間構造物を計画できる形状設計法を構築する。

3. 研究の方法

- ・ 施工性を考慮したラチスシェル屋根構造の形状最適化と耐震性能を考慮した支持構造のブレース配置の最適設計を行う。施工性としてラチスシェルの接合部における母材のとりつき角度（接合角）に着目し、接合角のパターンを分類しながら最適化を行う手法を構築する。また、耐震性能を向上させるために、支持構造物のブレース配置を最適化する。ラチスシェル屋根の水平・上下動の最大応答を目的関数とする多目的最適化を行い、力学特性を分析する。
- ・ 空間構造物の構造最適化になじみのない構造設計者にも利用可能な設計ツールを構築する。その他、積層造形を使って最適解のモックアップを作成し、構造性能・施工性を検証する。

4. 研究成果

(1) 接合パターンの標準化を考慮した形状最適化手法：

形状が複雑化するに伴って種類数が増加するラチスシェル接合部に着目し、接合部種類を制御したシェル形状の構造最適化手法を構築した。まず、NURBS 曲面で表したラチスシェル屋根形状において部材交点（接合部）上の主曲率を計算し、教師なし学習 (k-means 法) を用いて接合部の分類を行った。得られた分類結果を基に接合部群における分散の最大値を算出した。形状探索にあたり、その指標とひずみエネルギーを目的関数、ラチスシェル屋根を表すパラメトリック曲面の制御点座標を設計変数とした多目的最適化問題を定式化した。多目的最適化問題の解法として多目的遺伝的アルゴリズムを用いた。接合部種類を 3 とした 50 m 角のラチスシェルの数値解析例より、接合部角度を制御し、力学性能を向上させた非劣解群が得られることを確認した。

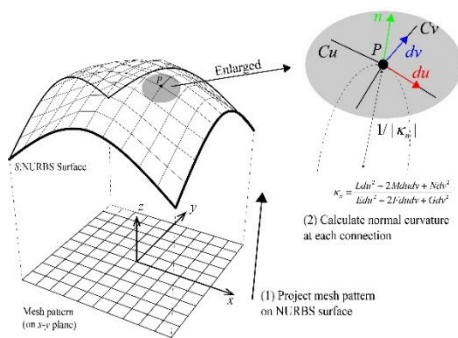


図 1 NURBS 曲面と

ラチスシェル屋根接合部の法曲率

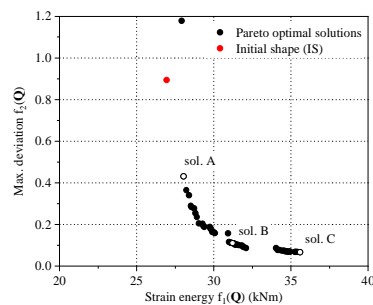


図 2 非劣解集合の例

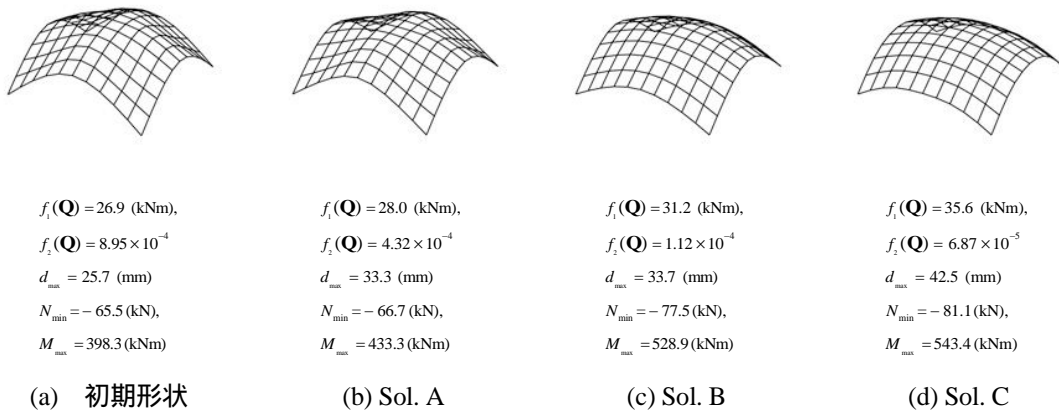


図3 形状図

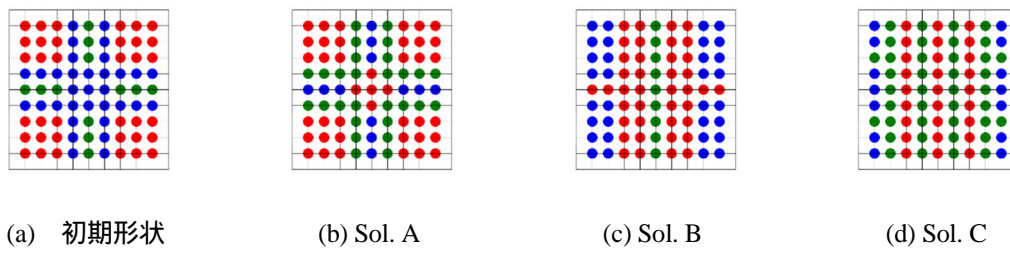


図4 接合種類パターン図

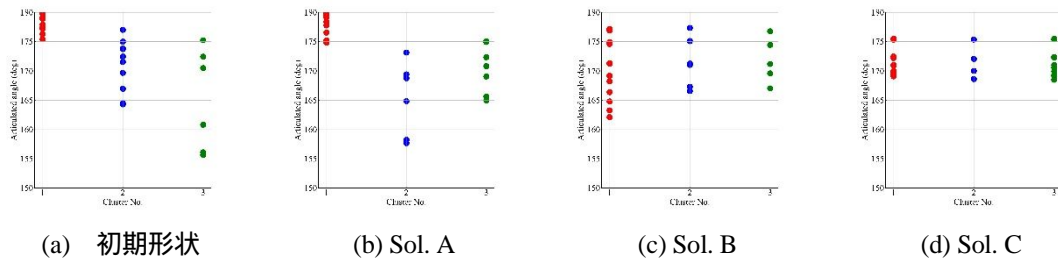


図5 各パターンにおける接合角度(x方向)

この他, 3D プリンタによる接合部の施工を想定し, 線材の FEM モデルを入力として接合部形状 (ソリッドモデル) を作成するツールを構築した。あらかじめ切り出した部材と 3D プリンタで製造した接合部によるラチスシェル屋根を想定し, 平面寸法が 60cm × 90cm の大きさを持つ屋根モデルを製作した。

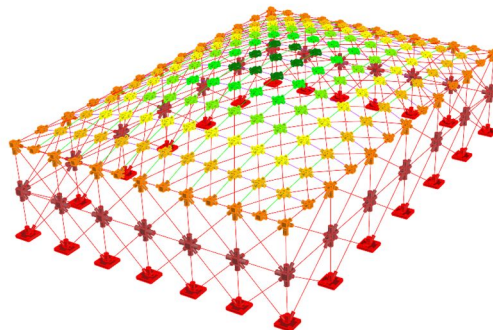


図6 接合部形状作成ツール

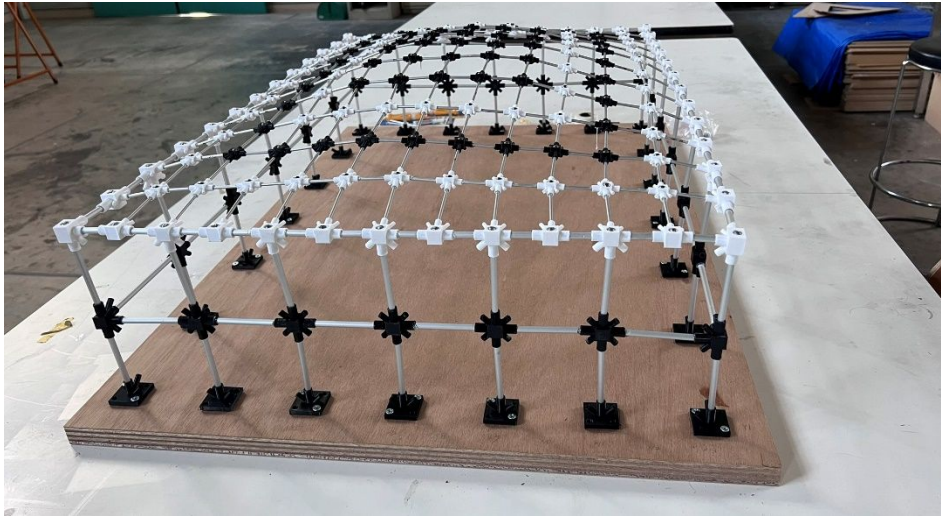


図7 モックアップモデル

(2) ラチスシェル屋根支持構造物のブレース配置最適化

自由曲面ラチスシェル屋根支持構造物を構成するブレースの有無を設計変数，応答スペクトル法にて求めた最大応答変位・最大応答加速度(水平・上下動)を目的関数とする多目的最適化問題を定式化した。様々な平面形状やサイズのラチスシェル構造に対して最適化を適用し，得られた解の力学的特性について比較・考察を行い，複数の力学指標の相互関係を分析した。

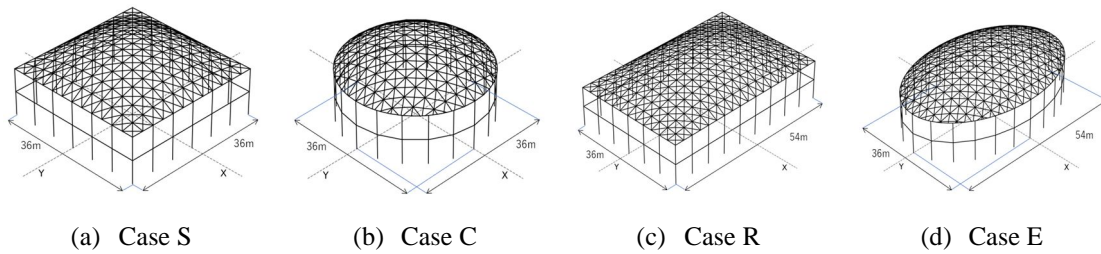


図 対象モデル

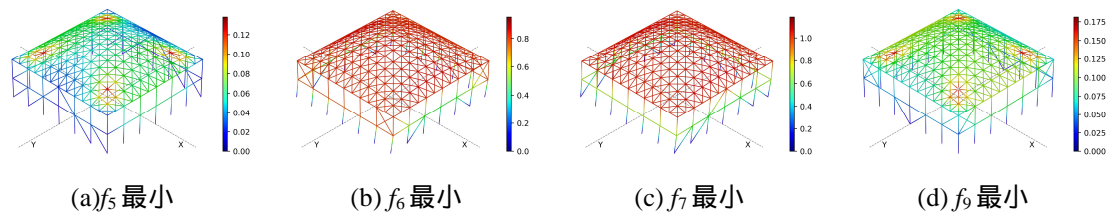


図8 X方向加振時最大変形[Case S, 単位:m]

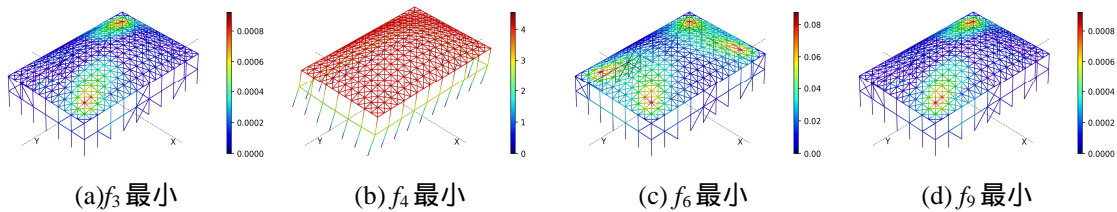


図9 Y方向加振時最大変形[Case R, 単位:m]

この他，Rhinceros+Grasshopper で応答スペクトル法を実行するコンポーネントを作成し，3Dモデルを可視化しながら最適化を実行する設計ツールを作成した。

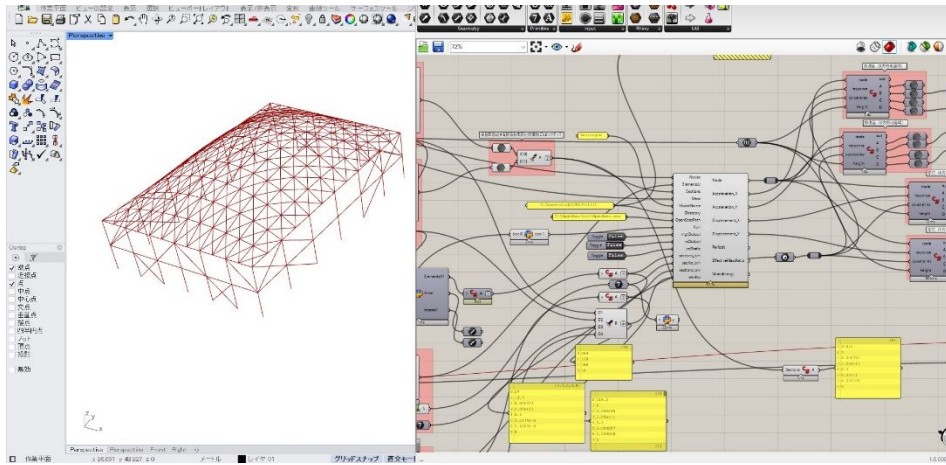


図 10 Rhinoceros+Grasshopper における応答スペクトル法コンポーネントと最適化実行ツール

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toshiaki KIMURA, Hiroki TAKEUCHI	4. 巻 -
2. 論文標題 Form-finding for free-form reticulated shell structure considering structural performance and regularization of node connection patterns	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the International Association for Shell and Spatial structures	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 臼井彩女, 木村俊明, 河村拓昌
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムを用いた大型望遠鏡支持構造物の構造最適化に関する研究 その1 2次元問題における多目的最適化
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会（近畿）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河村拓昌, 木村俊明, 臼井彩女
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムを用いた大型望遠鏡支持構造物の構造最適化に関する研究 その2 3次元問題における多目的最適化
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会（近畿）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村俊明, 加藤史郎, 中澤祥二, 佐々木睦朗, 永井佑季
2. 発表標題 T形断面等の開断面部材の複合座屈要素および空間構造の座屈解析への応用に関する研究 シェル要素で離散化したH形鋼の線形座屈解析結果との比較考察
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会（近畿）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H.Kawamura, A. Usui, C. Imamura, A. Taniguchi, K. Shintani, T. Yamada, Y. Tamura, T. Kimura
2. 発表標題 Multi-objective optimization of the large telescope structure under temperature loading
3. 学会等名 IASS Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内大貴, 木村俊明
2. 発表標題 力学性能と部材接合角を制御した自由曲面ラチスシェル構造の形状最適化
3. 学会等名 2022年度日本建築学会大会 (北海道)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiaki KIMURA, Hiroki Takeuchi, Rena Takagi, Hiroaki Kawamura
2. 発表標題 Structural optimization for free-form reticulated shell structure considering structural performance and regularization of node connection patterns
3. 学会等名 the 15th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimisation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村俊明
2. 発表標題 構造最適化と施工性の関係
3. 学会等名 シンポジウム「構造最適化の協創的利用」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内大貴, 木村俊明
2. 発表標題 接合部の種類を制御した自由曲面ラチスシェルの形状最適化
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会 (東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内大貴, 木村俊明
2. 発表標題 接合部の種類を制御した自由曲面ラチスシェルの形状最適化
3. 学会等名 第16回コキウム構造形態の解析と創生 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiaki Kimura, Hiroki Takeuchi
2. 発表標題 Shape optimization for free-form reticulated shell structure with regularized joint pattern
3. 学会等名 Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	青木 孝義 (Aoki Takayoshi) (10202467)	名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授 (23903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------