

令和元年6月25日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06571

研究課題名（和文）空間構造の雪荷重を考慮した総合耐震安全性評価手法の提案

研究課題名（英文）Proposal of seismic performance evaluation method for spatial structure considering snow load

研究代表者

中澤 祥二（NAKAZAWA, Shoji）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：70314094

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：小中学校体育館、スポーツアリーナなどの空間構造は、震災後に避難施設として利用される。このため、これらの構造物は高い耐震性が要求される。近年の気候変動にともない雪荷重の見直しがされつつあり、雪荷重を考慮した空間構造の耐震安全性の検討が必要である。

本研究では、雪荷重を考慮して設計された空間構造を対象とし、主構造材の限界変形に注目した新たな安全性評価法を示す。さらに、空間構造を構成する非構造材の安全性評価法を示し、空間構造の雪や地震に対する機能維持性能を含む総合的な耐震性能評価方法を提案することを目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下部構造に支持された単層円筒ラチスシェルを対象として検討した結果、雪荷重を含む設計荷重に対して設計された屋根構造の固定荷重に対する安全率は比較的大きく、高い耐震性が期待されることを示した。下部構造に支持された空間構造では、上部構造の損傷はほとんど起きず、下部構造に損傷が集中することが確認できた。そこで、下部構造の限界変形に応じた構造物の耐震性を評価する指標を提案し、その指標を簡便に計算する方法も提案した。さらに、上部屋根構造の損傷を簡便に評価するための等価静的地震荷重の評価方法も提案した。これらの研究成果より、空間構造の損傷評価、耐震性能を簡便に評価することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：Spatial structures such as elementary and junior high school gymnasiums and sports arenas are used as evacuation facilities after the sever earthquake. For this reason, these structures are required to have high seismic resistance capacity. The review of snow load is being carried out with recent climate change, and the examination of the seismic safety of the spatial structure in consideration of the snow load is necessary.

In this research, we propose a new safety performance evaluation method focusing on the critical deformation of the main structural material for the spatial structure designed considering the snow load. Furthermore, the purpose is to propose the safety performance evaluation method of non-structural materials that compose the spatial structure, and to propose a comprehensive seismic performance evaluation method including the function maintenance performance against the snow and earthquake of the spatial structure.

研究分野：建築構造

キーワード：空間構造 耐震性能 応答解析 下部構造 地震荷重 等価線形化法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

空間構造は小中学校体育館、スポーツアリーナなどの公共施設や工場や電力施設の大型建屋へ適用されている。学校体育館は地震後に避難施設として機能することや産業施設は地震後に生産ラインが機能することが望ましい。このような背景から、空間構造の機能維持を目指した耐震補強の社会的要求が高まっている。また、近年の気候変動にともない雪荷重の見直しがされつつある。空間構造では雪荷重による座屈現象が顕著に表れやすい構造形式であり、雪荷重に対する安全性能の評価の確立が社会的に求められている。また、地震荷重と雪荷重が同時に作用する場合の設計方法についてはほとんど議論されていないのが現状である。

2. 研究の目的

空間構造は広い無柱空間を有する構造物であり、スポーツアリーナ、学校体育館、工場などの産業施設に利用されている。この種の構造形式では雪荷重に対する安全性が重要であり、積雪に対する安全性の評価や積雪時の耐震性能評価や機能維持性能を評価する必要がある。本研究では、空間構造を構成する主構造材の限界変形に注目した新たな安全性能評価法を示すとともに、空間構造を構成する非構造材(天井材を含む)の安全性能評価法を示し、適切な雪荷重や地震荷重が作用した場合を想定し、空間構造の雪や地震に対する機能維持性能を含む総合的な耐震性能評価方法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 小中学校の体育館やスパン 100m 程度の既存体育館の設計事例を収集するとともに、空間構造の地震や積雪による被害事例の調査を行いリスク解析の方針策定のための資料を収集する。(2) 弾塑性応答解析を用いた空間構造の時刻歴応答解析を効率よく計算するためのテムを導入し、空間構造の地震応答性状(固有周期、固有モード、有効質量比、最大変位分布、最大応力分布)を分析する。(3) さらに、入力地震動を大きくした場合の構造物の崩壊性状を分析し、当該構造物の耐震性能を分析する。(4) 対象構造物の雪荷重の大きさに応じた地震応答性状、耐震性能の分析を行うとともに、(5) 空間構造の機能維持特性を含む総合的な耐震性能評価を行うために必要な等価静的地震荷重の作成方法を提案する。

4. 研究成果

(1) 下部構造に支持された単層円筒ラチスシェルを対象とし、固定荷重と雪荷重を考慮した設計荷重を設定し、弾塑性座屈解析に基づき、一般的な地域における上部単層円筒ラチスシェル屋根の設計荷重に対する安全率を分析した。分析の結果、雪荷重を含む設計荷重に対して設計された屋根構造の固定荷重に対する安全率は比較的大きく、高い耐震性が期待されることを示した。

(2) 時刻歴応答解析に基づき、固定荷重と雪荷重に対して断面算定された上部単層円筒ラチスシェル屋根に対する地震応答性状の分析と耐震性能評価を実施した。半開角(30度、40度、50度)の異なる3つのモデルを対象とした場合、半開角が大きくなるほど、大きな変形や応力が作用することが明らかとなった。大きな地震荷重が作用した場合、円筒ラチス屋根中央部の水平部材または斜材に塑性ヒンジが発生し、崩壊に至ることが分析された。限界塑性回転角を仮定し、限界塑性回転角に応じた耐震性能指標や動的靱性指標を明らかにし、ラチス屋根構造の耐震性能評価手法を提案した。

(3) 下部構造に支持された空間構造では、下部構造の降伏によって上部構造への入力が高減される。下部構造に支持された空間構造に対して、時刻歴応答解析に基づき、下部構造や上部単層円筒ラチスシェル屋根に対する地震応答性状の分析と耐震性能評価を実施した。上部構造については、半開角(30度、40度、50度)の異なる3つのモデル、下部構造については降伏せん断力係数の異なる5つのモデルを対象とし、これらのパラメータが応答性状や耐震性能に与える影響を分析した。下部構造に支持された空間構造では、上部構造の損傷はほとんど起きず、下部構造に損傷が集中することが確認できた。そこで、下部構造の限界塑性率を仮定し、限界塑性率に応じた耐震性能指標や動的靱性指標を明らかにし、ラチス構造全体の耐震性能評価手法を提案した。

(4) 下部構造に支持された空間構造を対象とし、時刻歴応答解析を行わずに下部構造の限界塑性率に応じた耐震性能指標や動的靱性指標を評価し、ラチス構造全体の耐震性能評価手法を提案した。具体的には、上部構造を剛体と考え、下部構造の降伏を等価線形手法で表現した1自由度系モデルを構築し、最大変位応答を評価した。まず、下部構造の降伏せん断力係数、下部構造の初期固有周期、2次剛性比、下部構造の履歴特性(バイリニア型履歴、スリップ型履歴)を数値パラメータとして、これらのパラメータが下部構造の最大応答に与える影響を分析した。等価線形化法を用いた耐震性能指標や動的靱性指標の推定式を提案した。耐震性能指標や動的靱性指標の推定式の分析から、動的靱性指標は下部構造の降伏せん断力係数には無関係であり、設計用加速度応答スペクトルの形状、減衰による応答スペクトルの低減係数、初期固有周期、限界塑性率に大きく影響することを明らかとした。また、提案した推定式は、時刻歴応答解析結果を十分な精度で模擬できることを確認した。

(5) 上部屋根構造の等価静的地震荷重を用いることにより、時刻歴応答解析を用いずに上部屋根構造の耐震性能を評価することができる。そこで、下部構造の最大変形の推定式を用い、上

部構造の等価静的地震荷重を提案した。本研究では、円筒ラチスシェルに作用する等価静的地震荷重は、(a) 1次モードに比例する荷重と(b) 高次モードに起因する水平方向荷重から定義される。本研究で提案した地震荷重は、下部構造による応答増幅を考慮することが可能であり、その適用性は、時刻歴応答解析結果との比較から検討している。

(6) 形態創成手法により形状決定された自由曲面ラチスシェルが上部屋根構造の場合であっても、提案した等価静的地震荷重が利用できることを示した。また、自由曲面ラチスシェルにおいても雪荷重や固定荷重に対する座屈性状の分析及び座屈耐力の評価、座屈耐力最大化に関する検討も同時に行った。

(7) 下部構造に支持された空間構造は、下部構造の変形が大きくなる傾向にある。(4)の結果に基づいて、下部構造の最大変形を求め、構造物の損傷評価、被害推定を実施することが可能である。また、上部構造の損傷については、下部構造の変形に応じた等価静的地震荷重が(5)の結果に基づいて評価されるため、上部構造の損傷や塑性化が評価される。空間構造の避難施設としての機能維持を考えた場合、上部構造を弾性範囲にとどめることが望ましい。したがって、上部構造に対しては、本研究で提案した上部構造の等価静的地震荷重を用いて弾性設計することが可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8件)

斎藤慶太, 手塚晃斗, 中澤祥二: 入力地震動の位相特性が鋼構造体育館の最大応答や動的靱性指標に与える影響, 構造工学論文集, 査読有, Vol.65B, pp.517-524, 2019.3

中澤祥二, 前田晴樹, 加藤史郎: 等価線形化法を用いた鋼構造体育館の動的靱性指標の推定法, 構造工学論文集, 査読有, Vol.64, pp.551-560, 2018.3

前田晴樹, 中澤祥二, 加藤史郎: 下部構造を有する単層円筒ラチスシェルの耐震性能評価に関する研究, 査読有, Vol.64, pp.561-570, 2018.3

滝内雄二, 加藤史郎, 中澤祥二: 支持架構で支持された自由曲面ラチスシェルの地震荷重の推定 -二つの主要な振動モードを有する形状について-, 構造工学論文集, 査読有, Vol.64, pp.561-570, 2018.3

臼井寛弥, 中澤祥二, 滝内雄二: 形態創成手法により形状決定された自由曲面ラチスシェルにおける座屈性状の分析及び座屈耐力の評価, 構造工学論文集, 査読有, Vol.63B, pp.133-140, 2017.3

滝内雄二, 加藤史郎, 中澤祥二: 自由曲面単層ラチスシェルの座屈耐力最大化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, Vol.82, pp.441-450, 2017

Nakazawa, S., Maeda, H.: Estimation method for dynamic ductility index of steel structures by using of equivalent linearization method, AIP Conference Proceedings, 査読有, IGNITE-AICCE 2017, Penang, Malaysia; 2017.8. DOI: 10.1063/1.5005637

Maeda, H., Nakazawa, S.: Study on seismic performance evaluation of cylindrical latticed shells supported by substructures, AIP Conference Proceedings, 査読有, IGNITE-AICCE 2017, Penang, Malaysia; 2017.8. DOI: 10.1063/1.5005636

〔学会発表〕(計 5件)

Nakazawa, S., Maeda, H., Kato, S.: Study on Equivalent Static Force of Single Layer Cylindrical Latticed Shell Roofs, Proceedings of the IASS Symposium 2018 July 16-20, 2018, MIT, Boston, USA, 2018.7

Kato, S., Takiuchi, Y., Nakazawa, S.: Two modes evaluation of seismic loads for free-form single layer reticulated shell structures supported by substructures, Proceedings of the IASS Symposium 2017, Hamburg, Germany, 2017.

Setiawan, J., Nakazawa, S.: Study on comparison of special moment frame steel structure (SMF)

and base isolation special moment frame steel structure (BI-SMF) in Indonesia, AIP Conference Proceedings, DOI: 110.1063/1.5005657, IGNITE-AICCE 2017, Penang, Malaysia; 2017.8.

Takiuchi, Y., Kato, S., Nakazawa, S. : Free-form reticulated shell structures searched for maximum buckling strength, AIP Conference Proceedings, DOI: 10.1063/1.5005635, IGNITE-AICCE 2017, Penang, Malaysia; 2017.8.

Kurniawandy, A., Nakazawa, S., Hendry, A., Ridwana, Firdaus, R. : Structural building screening and evaluation, AIP Conference Proceedings, DOI: 10.1063/1.5005662, IGNITE-AICCE 2017, Penang, Malaysia; 2017.8.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

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、研究者個人に帰属されます。