

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420575

研究課題名(和文)空間構造物の機能維持性能を含む総合耐震性能評価手法の提案

研究課題名(英文)Proposal of the total seismic performance evaluation method containing the functional maintenance performance of spatial structures

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：空間構造は比較的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。学校体育館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とが要求される。

本研究では、(1) 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耐震性能評価法を示すとともに、(2) 空間構造を構成する非構造材(天井材を含む)の耐震性能評価法を示し、(3) 空間構造の地震後の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。(4) 主に、ドーム構造、円筒型体育館を対象とし、耐震性能評価法を検討することができた。

研究成果の概要(英文)：Spatial structure is a structure which has comparatively large non-column space, and is used for industrial installation, such as a sports arena, a school gymnasium, and a factory. It is required that spatial structures can be used as an escape facility after an earthquake disaster. In this study, (1) the newly seismic performance evaluation method which paid attention to critical deformation of the structural members is shown, and (2) the seismic performance evaluation method for the non-structure members (ceiling material is included) is also illustrated. (3) The integrated seismic performance evaluation method containing the functional maintenance performance after the earthquakes for spatial structures is proposed. (4) Finally, to show the validity of the proposed method, the seismic performance evaluation method is mainly applied for dome structures and cylinder type gymnasiums.

研究分野：構造力学

キーワード：耐震設計 空間構造 非構造材 機能維持性能 耐震性能評価 ドーム 体育館

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。申請者も空間構造の耐震性能の向上を目指した下部構造に制振装置を導入した下部降伏型の空間構造，中間層免震空間構造の提案を行っている。

空間構造は一般には上部屋根架構と下部構造から構成されている。縦型の高層ビルと比較して，空間構造の応答性状の特徴は，複数の振動モードが励起されること，水平動による上下動の影響が無視できないこと，下部構造と上部屋根架構の連成振動を考慮する必要がある，

大きく高い屋根面を有するなどが挙げられる。このような背景から，空間構造の耐震設計において，(a) 上部屋根架構の静的な地震荷重が陽な形で一般的には定められていないこと，(b) 上部屋根架構の変形能力と靱性指標（または構造特性係数）の関係が明らかにされていない。特に，鋼構造体育館に関しては弾塑性応答解析に基づき，限界変形に応じた靱性指標の再評価に関する研究はあるものの，立体骨組屋根（ドーム形状や円筒形状）を構成する部材の靱性指標は全く不明である。また，この理由から屋根面の仕上材の損傷や落下が機能維持に対して大きく関わると考えられる。しかしながら，(c) 屋根面仕上材などの非構造材の損傷（や落下）が機能維持性能に与える影響は明らかになっていない。以上を鑑み，主構造材の損傷に加えて非構造材の損傷に伴う構造物の機能損失を考慮した総合的な耐震性能評価の確立は大きな社会的な課題であると考えられる。

2. 研究の目的

空間構造は比較的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。学校体育館では震災後に避難施設として利用できること，工場では製品の製造が持続できることが求められる。近年の地震被害より，主構造体の耐荷重性能を評価することは重要であるが，それに加えて，非構造材の損傷やそれに伴う機能損失を考慮することが重要である。そこで，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耐震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）の耐震性能評価法を示し，空間構造の地震後の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

空間構造の形状，規模，目的は多様であり，各々の形状や規模に対して分析を行う必要がある。そこで，本研究では，(a) 小中学校体育館や工場等に比較的多く利用される矩形形状の円筒型鋼構造空間構造と (b) 比較的規模の大きなスポーツアリーナの例として下部構造を有するスパン 100m 程度の単層ラチスドームに焦点を絞って検討を行った。

4. 研究成果

具体的には，観測地震動や模擬地震動を入力地震動とし，部材の降伏や座屈を考慮した時刻歴弾塑性地震応答解析を行い，対象構造物の弾塑性地震応答性状の分析を行い，地震動強さと最大応答値（最大層間変形角，累積塑性変形角，非構造材の変形角，屋根面の最大加速度など）の関係を分析することができた。既往の文献から，これらの最大応答値と損傷や地震後の使用性の関係を分析することにより，入力地震動強さと主構造材の限界変形に注目した新たな耐震性能指標（具体的には，動的耐震性能指

標)を提案することができた。この指標は各要素の変形に応じた評価方法であり、非構造材の損傷に起因する地震後の機能維持性能を評価する指標としても利用できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10件)

1. 加藤史郎, 中澤祥二, 神戸健彰, 柳澤利昌: 等分布荷重を受ける屋根型単層円筒ラチスシェルの耐力評価法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第692号, 2013
2. 中澤祥二, 高橋直生, 加藤史郎: 下部構造を有する単層ラチスドームの耐震性能評価に関する研究 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第686号, 2013
3. 中澤祥二, 柳澤利昌, 加藤史郎: 単層ラチスドームを対象とした地震荷重と耐震性能評価法の提案 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第692号, 2014
4. 中澤一輝, 中澤祥二, 加藤史郎: 地震応答解析による円筒形斜交網目シェルの耐震性能, 構造工学論文集, Vol.60B, 2014.3
5. 滝内雄二, 中澤祥二, 加藤史郎: 補剛された自由境界辺を有する矩形平面の自由曲面ラチスシェルの構造特性の分析, 構造工学論文集, Vol.61B, 2015.3
6. 服部正太, 中澤祥二, 加藤史郎: 固定荷重に対する単層ラチスドームの座屈耐力推定法に関する考察, 構造工学論文集, Vol.61B, 2015.3
7. 中澤一輝, 加藤史郎, 中澤祥二: 円筒形斜交網目シェルの耐震性能 - 屋根面部材の座屈による耐震性能の影響 -, 構造工学論文集, Vol.61B, 2015.3
8. 中澤祥二, 藤田将行, 加藤史郎: 単層円筒ラチスシェルの崩壊性状および耐震性能評価に関する研究, 構造工学論文集,

pp.51-60, Vol.62B, 2016.3

9. 加藤史郎, 滝内雄二, 中澤祥二: 自由境界辺のある自由曲面ラチスシェルの固定荷重および地震荷重に対する構造特性, 構造工学論文集, Vol.62B, pp.107-119, 2016.3

[学会発表](計 11件)

1. Toshimasa YANAGISAWA, Shoji NAKAZAWA, Shiro KATO: Proposal of Seismic Loads for Single Layer Reticular Domes, Proceedings of the IASS 2013 Symposium, 23-27 September 2013, Wroclaw, Poland, 2013.9.
2. Shiro KATO, Shoji NAKAZAWA, Yasuaki KODO, Toshimasa YANAGISAWA: Hand Calculation of Ultimate Strength of Cylindrical Reticulated Shells of Single Layer, Proceedings of the IASS 2013 Symposium, 23-27 September 2013, Wroclaw, Poland, 2013.9.
3. Shiro KATO, Shoji NAKAZAWA, Tatsuya YOSHINO, Toshimasa YANAGISAWA: Load Factors in Buckling Load Evaluation for Metal Reticulated Spherical Domes considering Reliability of Strength, Proceedings of IASS 2014, Brasilia, Brazil, 15-19 September, 2014
4. Shoji NAKAZAWA, Toshimasa YANAGISAWA, Shiro KATO: Proposal of Evaluation Method of Performance for Seismic Resistance of Single Layer Reticular Domes, Proceedings of IASS 2014, Brasilia, Brazil, 15-19 September, 2014
5. Shiro KATO, Toshimasa YANAGISAWA, Tatsuya YOSHINO, Shoji NAKAZAWA: Reliability Analysis of Buckling Strength of Reticulated Roof Structures of General Forms, Proceedings of the IASS Symposium 2015, Amsterdam,

- Netherlands, 17-20 August, 2015
- 6 . Toru TAKEUCHI, Shiro KATO, Su-Duo XUE, Shoji NAKAZAWA : Outline of Guide to Earthquake Response Evaluation of Metal Roof Spatial Structures, Proceedings of the IASS Symposium 2015, Amsterdam, Netherlands, 17-20 August, 2015
- 7 . Shiro KATO, Toshimasa YANAGISAWA, Shoji NAKAZAWA : Hand Calculation of Buckling Strength for Reticulated Single Layer Spherical Domes under External Disturbances Followed by Comparison with FEM Analysis, Proceedings of the APCS-IASS 2015 Symposium, May 21-24, 2015, Xi'an, China, 2015
- 8 . Toshimasa YANAGISAWA, Shiro KATO, Shoji NAKAZAWA : Buckling Strength Evaluation of Single Layer Reticular Dome under Dead and Seismic Loads, Proceedings of the APCS-IASS 2015 Symposium, May 21-24, 2015, Xi'an, China, 2015
- 9 . Masayuki FUJITA, Shoji NAKAZAWA, Shiro KATO : Seismic Performance Evaluation of Cylindrical Latticed Shells, Proceedings of the APCS-IASS 2015 Symposium, May 21-24, 2015, Xi'an, China, 2015
- 10 . Shiro KATO, Toshimasa YANAGISAWA, Tatsuya YOSHINO, Shoji NAKAZAWA : Reliability Analysis of Buckling Strength of Reticulated Roof Structures of General Forms, *Proceedings of the IASS Symposium 2015*, Amsterdam, the Kingdom of the Netherlands, 2015
- 11 . Toshimasa YANAGISAWA, Shoji NAKAZAWA, Shiro KATO : Hand Calculation for Seismic Performance of Single Layer Reticular Domes,

Proceedings of the IASS Symposium 2015,
Amsterdam, the Kingdom of the
Netherlands, 2015

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織
(1)研究代表者
中澤祥二 (NAKAZAWA, Shoji)
豊橋技術科学大学
建築・都市システム学系・教授
研究者番号：70314094

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし