

平成 21年 3月 31日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560546
 研究課題名（和文）
 成熟社会対応の高寿命型空間構造システム及び性能設計法に関する研究
 研究課題名（英文） Research on Long-life Spatial Structures and Performance Design
 for Matured Society
 研究代表者
 加藤 史郎（KATO SHIRO）
 豊橋技術科学大学・工学部・教授
 研究者番号：40023303

研究成果の概要：成熟した社会では、小材料で地震災害に強い、かつ、修復可能な長寿命の構造物が必要とされる。この研究では、地震被害を受けにくい大規模な体育館構造物の開発を進めた。また、被害をある程度受けても変形を自分で修復できる構造の基本形式を研究し、また、地震に対してどのような被害が生ずるかを適切に判断できる方法について研究した。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2006年度 | 1,500,000 | 0 | 1,500,000 |
| 2007年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2008年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,700,000 | 360,000 | 3,060,000 |

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：高寿命空間構造、自己修復型、地震リスク評価、フラジリティ評価、グリッド計算システム、2モード型 pushover 解析法、性能評価型解析法、座屈評価法

1. 研究開始当初の背景

成熟した社会においては、ストック性の高い、高寿命・リサイクル型の高品質建築を適正な価格で提供することが要求される。この潮流は、空間構造でも同様である。ノースリッジ、阪神淡路、集集地震等の災害以降、性能設計法に関する社会的要求は建設産業の胸元に突きつけられており、ライフ・サイクルコストを考慮した設計法の開発、品質確保に関する具体的開発が進展しつつある。最近の工法。設計法の高概念化は、個別住宅も含め制振・免震工法の日常化を促進

し、研究者・技術者の多面的で精力的な研究開発により、構造物は高品質となりつつある。これは、設計の高度化とともに複雑化を生み出し、同時に建築の高価格化を引き起こす。一方、京都議定書にも見られるように、21世紀は、膨大な社会基盤の維持のための低廉な環境負荷低負荷工法（軽量、省材料、災害高耐性）も併せて要求されており、高品質で低廉な価格で提供し、長期間維持し、エネルギー節約型の建築が要求されている。

空間構造においても、上記の目的を達

成するための研究が強く望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、空間構造を対象として、高寿命で維持コスト低価格構造システムの開発を目指し、その構造の地震被害抑制法および対応する性能設計法を研究する。このため、以下の

(1) 高寿命空間構造のコンセプトの調査ならびに、支承部・下部構造降伏型の空間構造を前提として、高寿命化・高性能化を実現しうる変形修正自律型空間構造の研究、低価格小型履歴ダンパーの適用による構造の高性能化・低環境負荷構造システムの研究、

(2) 下部構造降伏型空間構造の複数モード型限界耐力計算法の適用性・精度の検討、座屈設計も含め性能設計法の検討、

(3) 従来から研究室で開発してきた座屈解析法、各種の地震応答解析法を継承発展と、各種履歴デバイスの履歴特性の統合化、ならびに、効率的な計算システムとしてグリッド計算システムの構築などについて、研究を推進する。

3. 研究の方法

目的の(1) 変形修正自律型空間構造については、主に弾性変形のメカニズムを応用した変形自己修復型のシステム、地震時には主体構造以外で地震エネルギーを吸収できる構造形式について構造モデルを提案し、小型の履歴ダンパーについては有限要素法に基づいてエネルギー吸収性能を検討した。

目的の(2) 下部構造の塑性変形を等価線形法でモデル化し、空間構造の下部構造と上部構造の応答性状を特徴的に表す主たる2モードを抽出し、この2モードを使用する限界耐力計算法に基づいて地震に対する性能設計法を提案した。座屈性能評価法については、座屈を主に支配する部材を抽出する方法を提案し、性能を数理的に評価する方法を提案した。

目的の(3) 多数のマイクロコンピュータを連動させたグリッド計算システムを試作して、その計算性能を、地震リスク解析、座屈解析に利用することで、グリッドシステムの実用性を確認した。また、実際に地震リスク解析結果に基づく数理的方法を構築し、地震リスクを考慮した構造性能評価法を確立した。

4. 研究成果

目的の(1)

(1.1) 変形修正自律型空間構造に関して、直交するアーチを束材で偏心接合する「束で偏心接合された二方向単層ラチス

ドーム」を提案した。通常の固定荷重状態においても幾何学的非線形性による大きな弾性変形場を実現することで、弾性変形で回復するメカニズムをまず実現した。さらに大きな雪荷重や地震荷重の下では、束材に塑性変形を集中させることで、アーチ本体には損傷の出ない構造とした。大きな地震荷重が作用すると地震エネルギーの大半が束材で吸収され、主構造であるアーチには殆ど塑性化が生じない構造を実現できた。このメカニズムにより、変形修正自律型空間構造システムの原案を提示した。また、パラメトリックな解析から、雪荷重、地震荷重の下での実現可能性を確認した。さらに、その座屈性状、座屈荷重推定法を検討し、その提案した座屈荷重推定法の妥当性を検証した。

(1.2) 下部構造が降伏劣化型の履歴特性を有する場合に関して、J字型の小型の履歴ダンパーの特性を3Dの有限要素法で、その履歴特性を定式化し、汎用的使用を可能とした。構造の高性能化・軽量化による低環境負荷構造システムへの途を開くとともに、ほぼ実験結果を再現できる履歴特性の数式による簡易表現を実現した。また、下部構造に座屈拘束ブレースを装着することで、また、中間層に小型の履歴ダンパーを装着することで、上部構造の応答を大きく低減できることを明らかにした。

目的の(2)

(2.1) 下部構造が降伏劣化型の履歴特性を有する場合に関して、パラメトリックな地震応答解析から地震応答特性を開明するとともに、安定した履歴特性の場合だけでなく、この種の構造では、振動が主たる2モードで表示できることを示し、2モード型の性能型設計法を提案した。

(2.2) 下部構造が降伏劣化型の履歴特性を有する場合に関して、J字型の小型の履歴ダンパーを中間層に挿入することで、軽量の空間構造が可能であることを示し、その応答性状を明らかにした。

目的の(3)

(3.1) 従来から蓄積してきた各種の構造解析法を援用し、空間構造の統一的な座屈荷重評価法を体系化した。特に、束材による偏心接合、および、通常の直交格子ラチスドームも含め、2方向及び3方向単層ラチスドームの座屈性能評価法について、正規化細長比による圧縮強度式を提示し、これによる、特に単層ラチスドームの座屈荷重が体系的に評価する方法を提案・検証した。

(3.2) 相当多数(現在は120CPU)のマイクロコンピュータを連動させ、極めて大規模な計算を短期間に可能とするグリッドシステムを構築した。特に、多数回に弾塑性地震応答解析を基本とする地震リスク解析を実現し空間構造の地震時性能を明らかにできる解析

システムを構築した。同様に、パラメトリックな座屈解析に基づいて座屈耐力を可能とし、座屈軸力を用いてラチスドームの座屈性能を評価する方法を確立した。

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 21 件)

加藤史郎，今野岳，山下哲郎、単層直交格子ドームの座屈荷重に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第636号、305-312、2009、有

中澤祥二，加藤史郎，大家貴徳、弾塑性地震応答解析に基づく体育館の靱性指標評価の検討 桁面プレーズの検討、構造工学論文集、Vol.55B、(掲載決定)、2009

平野健太，中澤祥二，加藤史郎、鋼構造体育館の地震リスク評価に関する基礎的研究、構造工学論文集、Vol.55B、(掲載決定)、2009、有

樋口直也，加藤史郎，中澤祥二，吉野達矢、両端ピン支持されたアーチ状鋼構造の弾塑性座屈荷重評価、構造工学論文集、Vol.55B、(掲載決定)、2009

高橋邦広，樋口直也，中澤祥二，吉野達矢，加藤史郎、下部RC構造に支持された骨組膜構造の応答性状に関する研究、膜構造研究論文集、No.22、(掲載決定)、2009.3

加藤史郎，仁保裕、単層円筒ラチスシェル屋根の部材断面算定と部材弾塑性座屈応力度に関する一考察、鋼構造論文集、第15巻第57号、45-60、2008、有

加藤史郎，サトリア エカ，金倫範，中澤祥二、束で偏心接合された二方向単層ラチスドームの非線形挙動解析と実現可能性の検討、鋼構造論文集、第15巻第58号、21-36、2008、有

Eka Satria，Shiro Kato，Shoji Nakazawa，Daisuke Kakuda、Study on Dynamic Behavior of a New Type of Two-way Single Layer Lattice Dome with Nodal Eccentricity、an International Journal of Steel & Composite Structures、Vol.8 No.6、511-530、2008、有

中澤祥二，立道郁生，嶋登志夫，加藤史郎，平野健太、体育館・工場など空間構造物の地震リスク評価に関する基礎的研究、構造工学論文集、Vol.53B、227-237、2007、有

中澤祥二，加藤史郎，吉野達矢、限界耐力計算による骨組膜構造の応答評価、シングルレイヤー屋根型シェルへの適用例、膜構造研究論文集、83-94、2007、有

サトリアエカ，加藤史郎，金倫範，中澤祥二、圧縮を受ける鋼製円筒シェルの座屈—設計公式の比較—、鋼構造論文集、第14巻第54号、27-41、2007

Liang Su，Shi Lin Dong，Shiro Kato、Seismic Design for Steel Trussed Arch to Multi-support Excitations、Journal of Constructional Steel Research、Vol.63、Issue 6、(725 - 734)、2007、有

Shiro Kato，Tetsuo Yamashita，Shoji Nakazawa，Yun-beom Kim，Atsushi Fujibayashi、Analysis based evaluation for buckling loads of two way elliptic paraboloidal single layer lattice domes、Journal of Constructional Steel Research、Vol.63、1219 - 1227、2007、有

Shiro Kato，Shoji Nakazawa，Keita Saito、Estimation of Static Seismic Loads for Lattice Domes Supported by Substructure Frames with Braces Deteriorated due to Buckling、Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures、Vol.48、No.2、71-86、2007.8、有

Shiro Kato，Yun-Beom Kim、A Finite Element Parametric Study on the Mechanical Properties of J-Shaped Steel Hysteresis Devices、Journal of Constructional Steel Research、Vol.62、802-811、2006、有

Liang Su，Shi Lin Dong，Shiro Kato、A new Average response Spectrum Method for Linear response Analysis of Structures to Spatial earthquake Ground Motions、Engineering Structures、Vol.28、1835-1842、2006、有

Shiro Kato，Takashi Ueki，Shoji Nakazawa、Estimation of Buckling Loads of Elliptic Paraboloidal Single Layer Lattice Domes under vertical Loads、Vol.21、No 2、173-182、2006、有

中澤祥二，村上秀樹，加藤史郎，大河内靖雄，竹内 徹，柴田良一、座屈拘束プレー

スを用いた通信鉄塔の耐震補強法に関する研究, グリッドシステムを用いた遺伝的アルゴリズムによる座屈拘束ブレースの最適配置探索法、日本建築学会構造系論文集、第604号、79-86、2006、有

中澤祥二, 斎藤慶太, 加藤史郎、劣化型履歴を有するブレース架構で支持された複層ラチスドームの地震応答と静的地震荷重の推定、日本建築学会構造系論文集、第608号、69-76、2006、有

- 21) 加藤史郎, 中澤祥二, 斎藤慶太、Two-Mode Based Estimation of Equivalent Seismic Loads and Static Estimation of Dynamic Response of Reticular Domes Supported By Ductile Substructure、Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures、Vol.47、35-52、2006、有

〔学会発表〕(計8件)

Shiro Kato, Shoji Nakazawa、A Trial of Seismic Fragility Evaluation of a Large Lattice Dome Supported by Buckling Restrained Braces、Sixth International Conference on Urban Earthquake Engineering(東工大G-COE)、699 - 704、2009.3、無

Shiro Kato, Shoji Nakazawa、Seismic Risk Analysis of Large Lattice Dome Supported by Buckling Restrained Braces、Proceedings of the 6th International Conference on Computation of Shell and Spatial Structures: "Spanning Nano to Mega"28-31 May 2008, Cornell University、2008、有

Shiro KATO, Shoji NAKAZAWA, Kazune OKUHIRA, Naoya Higuchi and Takashi Ueki、On a Concept of Column Buckling for Member Proportioning and Buckling Load Estimation of Elliptic Paraboloidal Single Layer Lattice Domes、IASS-APCS 2006 Symposium、BK08、2006、有

Shiro KATO, Xiuli WANG, Shoji NAKAZAWA, Yun-Beom KIM and Daisuke KAKUDA、Earthquake Response Reduction of Reticular Domes by Using Inclined Bracing Elements with Stable Stress-Strain Characteristics、IASS-APCS 2006 Symposium、DR12、2006、有

Su-Duo XUE, Shiro KATO, Toru TAKEUCHI, Shoji NAKAZAWA, Toshiyuki OGAWA, P. ZHUANG、A Review on Methods of Seismic Response Analysis of Metal Spatial Structures、

IASS-APCS 2006 Symposium、DR34、2006、有

Toru TAKEUCHI, S. D. XUE, Shiro KATO, Toshiyuki OGAWA, Masami FUJIMOTO, Shoji NAKAZAWA、Recent Developments in Passive Control Technologies for Spatial Metal Structures、IASS-APCS 2006 Symposium、2006、有

Shiro KATO, Toru TAKEUCHI, Su-Duo XUE, Shoji NAKAZAWA, Ikuo TATEMICHII, Masumi FUJIMOTO, Feng FAN, Toshiyuki OGAWA, Zhi-hua Chen, Tomohiko KUMAGAI、State-of-Art Report on Seismic Response Estimation of Metal Spatial Structures under Earthquake Motions、IASS-APCS 2006 Symposium、IASS-APCS 2006 Symposium、2006、有

Shoji NAKAZAWA, Toshio SHIMA, Ikuo TATEMICHII, Shiro KATO and Kenta HIRANO、Evaluation for Seismic Risk Based on Damage Ratio and Seismic Resistance of Spatial Structure、IASS-APCS 2006 Symposium、AO16、2006、有

〔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〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 史郎 (KATO SHIRO)

豊橋技術科学大学・工学部・教授

研究者番号: 40023303

(2) 研究分担者

中澤 祥二 (NAKAZAWA SHOJI)

岐阜工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号: 70314094

柴田 良一 (SHIBATA RYOICHI)

豊橋技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号: 80270263