

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860053

研究課題名（和文）可変柔軟特性を有する柔軟節構造体の創成

研究課題名（英文）Construction of flexibly jointed structure with variable flexibility

研究代表者

田中 展 (TANAKA HIRO)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：70550143

研究成果の概要（和文）：空間構造体が有する多彩な変形様式を理解することを目的として、節の回転相互作用に着目した 2 次元柔軟節構造体の弾性変形モデルを構築した。そして、構築した数値解析モデルを用いて、正方セル構造の座屈分岐や新規構造のポアソン比の可変特性を解析し、節の回転特性に依存する空間構造体の変形メカニズムを解明した。得られた数値解析解は単軸引張試験によってその確かさを評価している。また、提案した構造モデルを拡張することにより展開構造体を発明した。

研究成果の概要（英文）：The elastic deformation model of 2D flexibly jointed structure was developed from the view of rotational interactions of joints to widely understand the deformation modes of spatial structures. Based on our developed model, we targeted some problems with the buckling bifurcation of square cells and the variable properties of Poisson's ratio of novel structures, and we made clear the deformation mechanism of spatial structures that depended on the rotational characteristics of joints. We also evaluated the obtained numerical results by comparison with uniaxial stretching test, and we invented a newly developable structure by extending our proposed structural model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,010,000	303,000	1,313,000
2010 年度	860,000	258,000	1,118,000
総計	1,870,000	561,000	2,431,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：柔軟節構造体, 大変形特性, 座屈, ポアソン比, 展開構造体

1. 研究開始当初の背景

建築骨組, 大型橋梁および車体フレームなどのマクロな構造体から, ハニカム材やフォーム材などのミクロな構造体まで多くの空間構造体が日常で観察される。これら空間構造体は, はり部材とそれらを連結する結合節で構成され, 高比剛性および高機能性など各種要求に応じた構造設計が可能となるため, その力学特性を理解することは工学上きわめて重要である。空間構造体の力学モデルは従来, その結合節を剛節もしくは滑節で表すことが一般的である。他方, 節の結合状態が

柔軟である場合も考えられるが, 節の柔軟性を考慮に入れた力学モデル(柔軟節構造体モデル)の構築は十分確立されているとはいえず, より広い視点から空間構造体の変形メカニズムを理解する必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題は, 剛節や滑節と異なる多回転相互作用を有する柔軟節という新規な接合形態を提案し, その柔軟節とはり部材で構成される柔軟節構造体の 2 次元弾性変形モデルを独自に構築することを目的とする。そして,

数値解析や実験を通して、構造不安定性やポアソン比特性を対象にした節の回転特性に依存する柔軟節構造体特有の変形能を解明する。

3. 研究の方法

柔軟節の回転エネルギーとはり部材のひずみエネルギーから大変形を考慮した2次元柔軟節構造体の有限変位モデルを定式化する。そして、以下の3つの問題に取り組み、構築した柔軟節構造体モデルの有用性を示す。(1)多重セル集合を有する周期正方セルの等二軸圧縮座屈特性とそのセルサイズ依存性を解析する、(2)4位柔軟節構造体のポアソン比の可変性を数値解析より調査し、単軸引張試験によって数値解析の確かさを評価する、(3)単一自由度の8位節反復構造体を新規提案し、試作機を製作してその展開/伸縮動作を実証する。

4. 研究成果

はじめに、柔軟節の多回転相互作用を複数の回転バネを内挿することでモデル化し、対称性を課した回転剛性行列が巡回行列になることを示した。そして、巡回行列の性質を利用した標準固有値問題より、回転剛性行列の固有ベクトルに相当する柔軟節の基本回転モードを求めた。さらに、六方ハニカムや正方ハニカムなどセル状材料の主要な平面形状を構成する3位~6位柔軟節について、それらの基本回転モードを具体的に計算し、整理した。次に、柔軟節モデルの回転エネルギーと大回転/微小ひずみを仮定したはり部材のひずみエネルギーから柔軟節構造体の弾性保存系を定式化し、座屈解析に必要な接線剛性行列を導出した。

構築した柔軟節構造体モデルを用いて、以下の研究成果を得た。

(1) 周期正方セルの等二軸圧縮座屈問題

多重セル集合を有する周期正方セルの等二軸圧縮座屈解析より、系の短波長座屈モードが4位節の基本回転モード(共回転/非対称回転/反対回転)の組み合わせで決定されることを明らかにした(図1参照)。そして、得られた座屈モードの幾何学的対称性と節の回転対称性の関係を整理し、各モードの座屈値が選択された基本回転モードの固有値に依存することを見出した。特に、柔軟係数という指標を用いて、柔軟節を滑節から剛節まで変化させたときの座屈値を評価することにより、滑節時や剛節時には縮退する柔軟節構造特有の座屈モードを確認した。また、2次モードが非対称回転モードで構成された4重分岐となり、局部座屈を生成することが分かった。得られた2次モードは、セルサイズの増加に伴い最低次のモードの座屈値に

漸近することを明らかにし、柔軟正方セルのセルサイズ依存性を確認した。

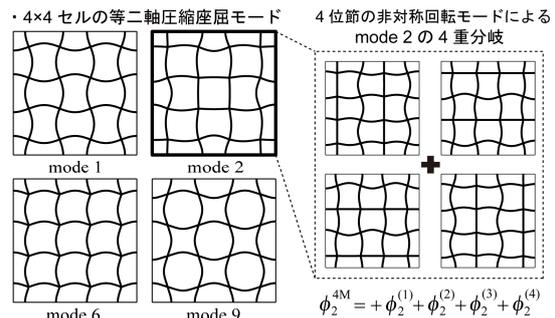


図1 周期正方セルの短波長座屈モード。

(2) 4位柔軟節構造体のポアソン比特性

4位節構造体を新たに提案し、節の柔軟性に依存して正から負までの広範囲のポアソン比を許容する力学特性を明らかにした。また、単軸引張試験より4位節構造体が数値解と同様のポアソン比特性を示すことを実験的に証明した。さらに、面内で負のポアソン比を保持しつつ面外に座屈するような、2次元解析では計算できない4位節構造体の面外変形特性を実験で計測した。

(3) 8位節反復構造体の展開/収縮機構

8位節と滑節連結された2位節で構成される単一自由度の8位節反復構造体を新規提案し、8位節の回転モードを選定することで当該構造体が多様な可変機構を発現することを解析的に導出した。また、階層型8位節モジュールの周期的な配列で組み合わせた4×4セル集合の8位節反復構造体の試作機を製作した。そして、構造体の中支部にロータリーアクチュエータを取り付け、回転駆動を作用させることで、可変機構のひとつである8位節反復構造体の展開/収縮モードを実証した。

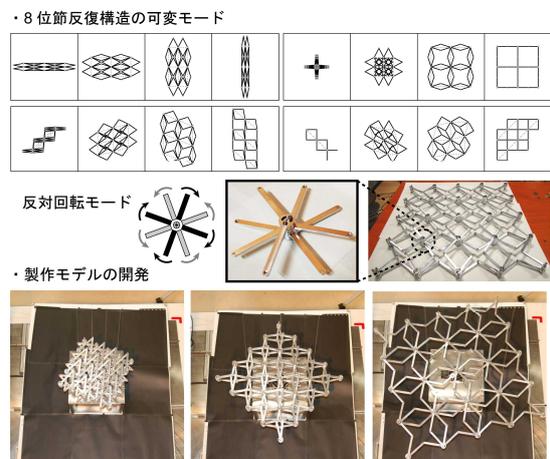


図2 8位節反復構造体の可変モードと駆動試験。

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3件)

- ① 田中展, 松尾幸哉, 渋谷陽二, ポアソン比にみられる4位柔軟節構造体の非線形弾性変形挙動, 日本機械学会論文集(A編), 査読有, 76巻768号, 2010, pp.1025-1031
- ② 田中展, 渋谷陽二, 柔軟節の回転特性に基づく周期正方セル構造の短波長座屈モード, 日本機械学会論文集(A編), 査読有, 75巻760号, 2009, pp.1649-1656
- ③ H. Tanaka, Y. Shibusani, In-plane Mechanical Behaviors of 2D Repetitive Frameworks with Four-coordinate Flexible Joints and Elbowed Beam Members, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 査読有, Vol.57, No.9, 2009, pp.1485-1499

[学会発表] (計6件)

- ① 田中展, 渋谷陽二, 泉聡志, 酒井信介, 圧縮負荷を受ける柔軟節正方セル構造の変形局所化, M&M2010材料力学カンファレンス, 2010年10月9日, 長岡
- ② 田中展, 渋谷陽二, 回転負荷による8位節展開構造体の展開/収縮機構, 日本機械学会2010年度年次大会, 2010年9月8日, 名古屋
- ③ 田中展, 渋谷陽二, セルサイズに依存する柔軟節正方セルの圧縮座屈特性, 第22回計算力学講演会, 2009年10月12日, 金沢
- ④ 田中展, 柔軟節構造体にみられる固体特有の変形機構とその工学的展開について(招待講演), 第237回材料力学談話会, 2009年10月9日, 大阪
- ⑤ 田中展, 渋谷陽二, 凹部空間を有する多位柔軟節構造体の弾性変形特性, M&M2009材料力学カンファレンス, 2009年7月26日, 札幌
- ⑥ 田中展, 渋谷陽二, ポアソン比にみられる4位柔軟節構造体の面内力学特性, 第14回計算工学講演会, 2009年5月14日, 東京

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 展開構造体

発明者: 田中展, 渋谷陽二

権利者: 大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-278983

出願年月日: 2009年12月8日

国内外の別: 国内

[その他]

○受賞歴 (計1件)

賞名: 日本機械学会賞 (論文)

対象: 田中展, 渋谷陽二

学会名: 日本機械学会

受賞日: 2011年4月21日

○ホームページ

<http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/~htanaka/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中展 (TANAKA HIRO)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号: 70550143

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者