

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月10日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560593

研究課題名（和文） ハイブリッド骨組の構造性能解析コードの実用性の向上

研究課題名（英文） Study on structural performance analysis code for hybrid frame

研究代表者

修行 稔 (SHUGYO MINORU)

長崎大学・工学研究科・特別科学研究員

研究者番号：70039668

研究成果の概要（和文）：

申請者らが開発した「繊維化塑性関節モデル」によれば、種々の鋼材・RC部材・SRC部および半剛接合部が混在する実規模の骨組が、特別なデータベース等を必要とすることなく30万円程度のパーソナルコンピュータで解析が可能である。また、釣り合い経路への自動回帰機能を持つ modified incremental stiffness method を基礎として、部材に生じる弾性変形と塑性変形が厳密に分離できる解法であるため、大変形を生じた骨組の不均衡力が極めて精度よく評価でき、崩壊解析に力を発揮する。

本研究は、「繊維化塑性関節モデル」を用いたハイブリッド骨組の構造性能解析コードの実用性をさらに高めるため、ブレースと骨組本体の接合部に生じる偏心の大きさがブレースの弾塑性座屈挙動に及ぼす影響と、この影響を打ち消す働きをする接合部剛性の効果を実験によって調べた。その結果、本解法が実用上十分な精度を有していることが確認できた。

研究成果の概要（英文）：

This paper presents some accurate numerical results of collapse analysis on an hybrid frame. The analyses are done by the fibered plastic hinge method. The authors call this approach "fibered plastic hinge model". The reliability of the fibered plastic hinge model on the elastoplastic buckling analysis of angle members with gusset plate is examined by comparing the numerical results with corresponding experimental ones. The experiments are done for four types of test specimens that have gusset plates of different size. The ABAQUS shell element is also used to obtain other solutions by modeling both angle member and gusset plate with fine mesh. The comparisons of those results show that the present model has a reasonable accuracy for the problem.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：繊維化塑性関節モデル、弾塑性解析、FPHM、ハイブリッド骨組

## 1. 研究開始当初の背景

2000年に施行された改正建築基準法と告示により、建築骨組の弾塑性解析の精度や信頼性への要求は一段と増してきている。性能規定形設計を一般に定着させるためには、これまで必ずしも正確には考慮されていない、塑性化による大変形、変動軸力と二軸曲げモーメントの相互作用、弾塑性ねじり、半剛接合部などを高い信頼性で評価でき、様々な部材が混在するハイブリッド骨組を统一的に、かつ実用的な速さで解析できる解析コードが必要である。

## 2. 研究の目的

申請者はこの状況を十数年前に予見し、上記の要求を満たす独自のより要素を開発するとともに、その汎用性の拡張と信頼性の検証を続けてきた。この新しいより要素は、従来の塑性関節モデルとファイバーモデルのそれぞれの長所を組み合わせて定式化された独創的なものである。「ファイバーモデルの精度を有する塑性関節モデル」であるという意味を込めて「繊維化塑性関節モデル」と称している。

本モデルは既に、そり変形を生じるH形鋼部材、弾塑性ねじりを生じる鋼管部材、コンクリート充填鋼管部材などが扱えるように拡張され、既存の研究や自ら実施した実験等で精度の検証がなされている。最近になって、一般に弾塑性的な取扱いが難しいとされる非対称断面材に対応し、SRC部材を含む骨組の繰返し挙動解析にも、ある制限範囲内の適用を可能にしている。本モデルを基礎として開発された解析コードは、弾塑性増分解析の高精度化や安定化を図るための不平衡力解消方法の導入や、すべての部材に対して要素モデルの自由度を14自由度に統一するなどのアルゴリズムの改良によって実用の域に達し、研究室のホームページで試用版として無償公開中であり、現時点で3000件を超えるアクセスを得ている。

本研究は、本解析コードの実用性をさらに高めるため、弾塑性座屈をおこすブレース材の挙動に関し、特に材端部の偏心とガセットプレートの剛性の影響を実験と数値解析によって明らかにし、得られた知見を解析コードに反映させようとするものである。材端部の偏心や曲げ剛性はブレースの弾塑性座屈挙動に大きく影響するが、骨組全体の解析に際してこの影響を的確に考慮できる実用解析コードは、現実には見当たらない。本研究によって拡張された解析コードは、新規設計骨組や既存不適格の骨組のより正確な性能評価に貢献できると考える。

申請者が開発した「繊維化塑性関節モデル」によれば、種々の鋼材・RC部材・SR

C部および半剛接合部が混在する実規模の骨組が、特別なデータベース等を必要とすることなく30万円程度のパーソナルコンピュータで解析が可能である。また、釣り合い経路への自動回帰機能を持つ modified incremental stiffness method を基礎として、部材に生じる弾性変形と塑性変形が厳密に分離できる解法であるため、大変形を生じた骨組の不平衡力が極めて精度よく評価でき、崩壊解析に力を発揮する。

本研究によって生み出される解析コードで、ブレースの弾塑性座屈挙動への材端部の偏心や曲げ剛性の影響を正確に考慮したハイブリッド骨組の耐震性能評価がどの設計事務所でも容易に、迅速に、かつ高い信頼度で可能になり、新規骨組の性能設計や既存不適格の骨組の耐震診断などの推進に寄与できる。

「繊維化塑性関節モデル」に関する論文は、日本建築学会構造系論文集や米国土木学会(ASCE)の論文集のほか多くの論文集に採択され、信頼性と有用性は既に十分に検証されている(非対称断面材の弾塑性解析における繊維化塑性関節モデルの精度, 日本建築学会構造系論文集, 第609号, pp97-104, 2006; Elastoplastic Large Deflection Analysis of Three-Dimensional Steel Frames, J. Structural Engineering, ASCE, Vol.129, pp.1259-1267, No.9, 2003 ほか)。

例えば、学校屋内運動場骨組の崩壊挙動を正確に解くには、異種材料の混合骨組に対応していること、鉄骨と鉄筋コンクリートの接合部(ベースプレート)の限界曲げモーメントや基礎の限界転倒曲げモーメントを監視しつつ、限界を超えた場合は以降の計算ではその場所を塑性ヒンジとして扱えること、などの性能が要求される。申請者らの知る限りでは、世界的に見てもこれらの要求を満たす半剛接ハイブリッド骨組の崩壊解析が可能な解析コードは存在しない。

## 3. 研究の方法

申請者が開発し、研究室Webページで公開しているハイブリッド骨組の構造性能解析コードは、当初は鋼骨組のみが対象であったが、その後の研究によってRC部材やSRC部材などが混在する骨組にも使用できるように拡張を済ませている。その際、コンクリートの構成式に関して申請者ら独自のモデルを提示し、これを導入すればSRC骨組およびSRC柱と鉄骨はりからなる1層1スパン混合骨組の繰返し弾塑性挙動を、層間変形角±0.02程度までは劣化挙動を含めて良い精度で解析可能であることを確認している(曲げで壊れる鋼コンクリート合成部材および骨組の弾塑性解析, 日本建築学会構造系論文集,

第 631 号, pp.1535-1542, 2008)。

本研究は、この解析コードの実用性をさらに高めるため、ブレースと骨組本体の接合部に生じる偏心の大きさがブレースの弾塑性座屈挙動に及ぼす影響と、この影響を打ち消す働きをする接合部剛性の効果を実験によって調べるとともに、骨組の解析においてこれらの性状が自動的に考慮できるように上記の解析コードの性能を向上させるものである。実験の対象とするブレース材は等辺のアングル材を採用する。アングル材は非対称断面材であるため、偏心量が大きくかつ変形が構面外に生じ、ブレース材としては数値解析上最も扱い難い部材である。従って、アングル材での解析精度が確保できれば、その他のブレース材でも十分な精度が期待できると考えている。

まず平成 21 年度から、申請者らが所有する実験用フレームを用いて、一端を一般的な柱はり接合部とガセットプレートを模擬したものに接合して固定し、もう一端をピンとしたアングル材に偏心軸力を載荷する実験を実施する。供試体は、ガセットプレートの形状と板厚をパラメータとして計 8 体とする(形状 2 種類、板厚 4 種類)。ただし、後述するようにガセットプレートの力学的特性を市販の汎用ソフトである ABAQUS (既に購入済み) のシェル要素を用いて解析しつつ、その結果を参考にしながら並行して実験を進めるため、実験は平成 21 年度と 22 年度にそれぞれ 4 体ずつ行うことにしている。

変位計やデータロガーは手持ちのものがあり、そのまま流用できる。上記供試体の制作費として 1 体 30 万円の計 240 万円、アングルとガセットプレートに使う材料の引張り試験が 1 本 2 万円で 10 本の計 20 万円、ひずみゲージが供試体 1 体あたり 30 枚に加えて引張り試験用に 20 枚、それに予備用を考慮して 280 枚の 14 万円を計上している。供試体は重量も大きく、多くのひずみゲージを貼付しなければならないので、実験の準備と実施にかなりの実験補助が必要である。この実験補助費として平成 21 年度と 22 年度にそれぞれ 30 万円を計上している。

上記の仕事と並行して、ブレース材が取り付くガセットプレート全体の弾塑性曲げ挙動を明らかにするため、所有している ABAQUS のシェル要素を用いて弾塑性解析を行い、実験を支援する。数値解析で得られる情報によって、より合理的な実験が行えるものと考えている。数値解析には精度の確保のための試行錯誤が必要であるので、この仕事専用的高速なパーソナルコンピュータとして 60 万円程度の WindowsPC を購入する。

平成 22 年度では、前年度に引き続き 4 体の実験と ABAQUS による数値解析を継続するとともに、得られた結果を申請者らの解析コ

ードに反映させる。解析コードの基本となっている「繊維化塑性関節モデル」は、部材接合部の半剛接性を要素端コンプライアンスとして評価する機能を持っている。従って、まずブレース材が取り付けられた状態でのガセットプレートのコンプライアンス(変形角と曲げモーメントの関係)を形状・寸法や板厚などをパラメータとして定式化し、それを要素端コンプライアンスの形で導入することによって、ガセットプレートがブレース材の弾塑性座屈に及ぼす影響を評価できるように本解析コードを改良することは、比較的容易に実現できると考えている。

本研究では、標準的な形状のガセットプレートとアングル材のみが対象であるが、本研究で実施される実験の結果と ABAQUS による数値解析の結果の比較によって、この種の問題に関する ABAQUS シェル要素の使用上の留意点が明らかになるので、異なる形状のガセットプレートやブレース材に関しては、ABAQUS での数値解析で実用的な材端コンプライアンスの定式化が可能になると考えられる。この意味でも本研究の意義は大きい。

平成 23 年度では、様々な形状のブレース付きガセットプレートに対応するよう、前年度に引き続き ABAQUS による数値解析を継続するとともに、得られた結果を申請者らの解析コードに反映させる。また、本解析コードを用いて既往のブレース材付き骨組の実験をシミュレートし、本解析コードの精度の検証を行う。

なお、実験と ABAQUS による数値解析は主として島津が、その結果の定式化と解析コードへの組込みは主として修行が担当する。

#### 4. 研究成果

本研究は、「繊維化塑性関節モデル」を用いたハイブリッド骨組の構造性能解析コードの実用性をさらに高めるため、ブレースと骨組本体の接合部に生じる偏心の大きさがブレースの弾塑性座屈挙動に及ぼす影響と、この影響を打ち消す働きをする接合部剛性の効果を実験によって調べた。その結果、本解法が実用上十分な精度を有していることが確認できた。

#### 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 11 件)

- ① 修行稔、島津勝、小野明大：耐震補強用鉄骨ブレース接合部に関する研究、鋼構造年次論文報告集、査読有、19 巻、2011、pp91-94
- ② 修行稔、島津勝、小野明大：実大 4 層鉄骨造建物の地震応答解析、鋼構造年次論

- 文報告集、査読有、19 巻、2011、  
pp827-832
- ③ 島津勝、修行稔：SRCはりの弾塑性曲げ挙動解析法に関する研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、33 巻 2 号、2011、pp91-96
  - ④ 修行稔、島津勝、徳光美紗代、小野明大：鋼骨組の 3 次元弾塑性動的解析、鋼構造年次論文報告集、査読有、18 巻、2010、pp 459-464
  - ⑤ 島津勝、修行稔、徳光美紗代、小野明大：露出形柱脚の回転剛性の影響を考慮した鋼骨組の弾塑性解析、鋼構造年次論文報告集、査読有、18 巻、2010、pp 63～68
  - ⑥ 修行稔、島津勝：繊維化塑性関節モデルによる学校体育館混合骨組の詳細解析、日本建築学会構造系論文集、査読有、75 巻 651 号、2010、pp 943-949
  - ⑦ 修行稔、島津勝、木村まい：RCスラブの合成効果を考慮した鋼骨組の動的立体解析、鋼構造年次論文報告集、査読有、17 巻 1 号、2009、pp 621-626
  - ⑧ 島津勝、修行稔、岩本弘：床スラブの合成効果を考慮した鋼構造骨組の解析、鋼構造年次論文報告集、査読有、17 巻 1 号、2009、pp 617-620
  - ⑨ 修行稔、島津勝、山田良子、徳光美紗代：山形鋼の弾塑性座屈解析における繊維化塑性関節モデルの信頼性、鋼構造年次論文報告集、査読有、17 巻 1 号、2009、pp 21-24
  - ⑩ 島津勝、修行稔、柴田尚知：十字形鉄骨を内臓した鉄骨鉄筋コンクリート柱の弾塑性挙動解析、鋼構造年次論文報告集、査読有、17 巻 1 号、2009、pp 627-630
  - ⑪ 島津勝、修行稔：繊維化塑性関節モデルによる鉄筋コンクリート骨組の弾塑性解析、コンクリート工学年次論文集、査

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

修行 稔 (SHUGYO MINORU)

長崎大学・工学研究科・特別科学研究員  
研究者番号：70039668

### (2) 研究分担者

島津 勝 (SHIMAZU MASARU)

長崎大学・工学研究科・助教  
研究者番号：30363469

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：