

論文名

繊維化塑性関節法の実用化に関する基礎的研究

氏名

作本 裕介

著者らの研究グループでは、開断面材・閉断面材・半剛接接合部が混在し、かつ複数の材料を使用したハイブリッド骨組の三次元崩壊解析のための汎用はり要素の開発を進めている。本要素は plastic hinge model であるが、plastic hinge 部の塑性変形増分を繊維に分割した断面に関する数値積分で求めるため、塑性変形が極めて精度よく評価できる特長を有しており、その特長から繊維化塑性関節モデルと称している。plastic hinge model の利点である計算速度の速さと fiber model の利点である精度の高さを兼ね備え、実規模の骨組の三次元的な崩壊解析を可能にしている。

本論文は、この三次元崩壊解析法（繊維化塑性関節法）を基本にして、有限要素法に馴染みの薄い中小の設計事務所でも利用可能な、簡素で使いやすい三次元耐震性能評価ソフトウェアシステムを構築するための研究の一環として、現実の骨組に生じ得る極めて厳しい変形状態でも本解法が高い信頼性を保持できるよう、既往のH形鋼立体骨組のねじり崩壊実験との比較で解析プログラムを改良するとともに、同じく既往の実験が存在する半剛接ラーメンや単層ラチスドームの崩壊挙動の解析を通してプログラムの安定性と信頼性を向上させるなど、本解法の実用化に向けた基礎的研究の結果をまとめたものである。

本要素には必要に応じて要素の両端にコンプライアンスの形で半剛接機能を付加できることがもう一つの大きな特長であるが、この機能は応用範囲が広く、実際の骨組には必ず存在する「力学的にあいまいな部分」を従来よりはるかに容易に、かつ的確に評価することができる。本論文の後半はこの半剛接機能の実用性に関するものであり、半剛接された実大ラーメンや、同じく半剛接性の強い単層ラチスドームの既往の実大実験の結果と本解析法による結果との対応を調べることによって、その実用性を確認する。

本論文は以下のような構成になっている。

第1章では、本研究の目的及び論文概要について述べた。

第2章では、数値解析法に関する基礎理論を論じる。本研究では modified incremental stiffness method と、回転行列を用いて剛体回転を完全に除去する updated Lagrangian formulation 及び要素端断面に関する塑性変形増分評価のための数値積分を組み合わせた要素モデルを用いる。塑性変形に関して本モデルは一種の塑性関節モデルであり、部材に生じる弾性変形と塑性変形を分離できる要素モデルとなっている。塑性関節においては、降伏条件式、流れ則及び硬化則によって繊維の弾塑性構成関係を求め、これを断面に関して数値積分することによって塑性変形増分を評価する。従って、要素の弾性変形のみが容易に分離でき、骨組の内力が弾性ひずみエネルギーの勾配として正確に得られる利点がある。

第3章では、繰返し偏心水平力を受けて大きなねじれ変形を伴って崩壊するH形鋼立体骨組の既往の実験的研究に対応する解析を、アルゴリズムや収束判定値等を工夫して改良した解析プログラムを用いて実施し、本解法がこのような厳しい問題でも標準値である1部材4要素分割で実用上十分な精度を有することを検証する。

第4章では、半剛接骨組の崩壊解析について述べる。立体骨組の大変形状態における弾塑性挙動には、部材の一部が塑性化することによる材料非線形性と、大変形による幾何学的非線形性が現れる。半剛接骨組は大変形状態になりやすく、その弾塑性挙動の解析に使用される解析プログラムには大変形解析に際しての精度の良さが求められる。本章では、第2章で定式化した要素モデルの接線剛性行列を基礎に、接合部剛性を部材端コンプライアンスの形で導入した半剛接モデルを提示し、その実用性を二種類の既往の実験的研究の結果との比較で検証する。まず解析例1として、半剛接実大ラーメンに関する実験に対応する解析を行い、半剛接接合部を有する立体骨組においても1部材4要素近似で実用上十分な精度を有することを検証する。解析例2として、半剛接単位単層ラチスドーム及び半剛接六角形単層ラチスドームに関する既往の実験についても対応する解析を行い、本質的にトラス構造である単層ラチスドームに関しては1部材1要素(細長比が大きく個材弾性座屈の発生が否定できない部材については1部材を2要素)近似で実用上十分な精度を有することを示す。また、本解法の利点の一つである接合部剛性の導入や応用の容易さを利用して、これまで不明であった接合部の挙動に及ぼす軸力の影響や遊び回転角の影響を明らかにする。

第5章では、本論文の総括を行い、研究から得られた知見をまとめた。