

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名   モスタファエイ   ホセイン  
**Mostafaei Hossein**

本論文は、鉄筋コンクリート造の柱、はりおよび耐震壁部材を対象とする変位に基づく解析手法に関する研究をまとめたものである。本解析手法は釣り合い条件および適合条件を考慮した曲げ-せん断-軸力の相互作用概念に基づいており、それを ASF1 法と名付けている。概要は以下のとおりである。

ASF1 法は鉄筋コンクリート部材を軸 - せん断モデルと軸 - 曲げモデルの 2 つの連続する断面要素モデルで構成する。軸 - せん断モデルは離散および回転ひび割れモデルの平均応力 - 平均ひずみ関係に基づいており、軸 - 曲げモデルは部材両端面での従来の断面曲げ解析法に基づいている。

ASF1 法では、軸 - 曲げモデルとして応力ブロック法またはファイバーモデルを用いるが、2 つのモデル( 軸 - せん断モデルと軸 - 曲げモデル)における軸ひずみが一致するように適合条件を満足させることに特徴がある。すなわち、水平力の除加後、すべての解析ステップにおいて、コンクリート圧縮強度の軟化効果を考慮した同一材料特性および構成則を用いることによって 2 つのモデルの軸力による軸ひずみを一致させる。両モデルの釣り合い条件は垂直およびせん断成分の応力場で軸応力を考慮することによって満足させる。

曲げによる軸変形は部材中間で断面内の線形分布を仮定して縁ひずみから算定する。横方向応力はゼロと仮定して、コンクリートと横補強筋の応力の釣り合い条件を満足する。特に柱においては横方向の拘束力とフープ応力の釣り合い状態を表す。軸 - せん断要素の重要な役割のひとつは、軸 - 曲げモデルのコンクリートファイバーの圧縮強度を低下させることである。曲げ変形の増加によって軸変形が増加するとともに軸 - せん断要素の軸変形の増加にも影響を与える。したがって、せん断変形が増加し、また圧縮強度軟化係数が減少することによって軸 - 曲げファイバー - のコンクリート強度が低下する結果となる。これによりポストピークでせん断 - 引張もしくはせん断 - 圧縮破壊が卓越するまでの解析が可能になる。

Secant stiffness 法に基づいた ASF1 モデルを用いて、5 本の RC 柱、1 本のはり、1 スパンのフレームそして側柱付き耐震壁に対する水平荷重、軸変形および水平変形の評価を行い、解析と実験の比較が行われている。

付着破壊した柱の実験結果は付着破壊が柱の変形 - 荷重関係に影響を与えており、完全付着仮定の解析結果と比べてより低い変形で終局強度が得られている。これは ASF1 モデルに付着破壊メカニズムを考慮する必要があることを示している。また、ASF1 法による解析結果は圧縮縁のコンクリートファイバーの最大圧縮強度後、圧縮鉄筋の抜け出しや座屈現象が終

局強度時の水平変形評価に大きい影響があることを示している。ASFI 法による解析結果では、圧縮縁コンクリートファイバ - のポストピーク強度が最大圧縮強度の 30%に低下するまで軸 - せん断および軸 - 曲げモデルが影響を与え合っており、その後の挙動は軸 - 曲げモデルによって支配される結果が得られている。

2本の柱と上下端が剛な梁で構成されている1スパンフレームの実験が行われているが、実験前にAIJおよびACIの設計式による評価とともにASFI法による事前解析が行われている。AIJおよびACI設計式ではせん断挙動が卓越するのに対して、ASFI法からは曲げ降伏後のせん断破壊が予測されている。実験結果は明らかに曲げ降伏後のせん断破壊を示しており、試験体の終局強度に関してはASFI法による解析結果より10%低い結果となったものの水平変形の評価は実験結果とほぼ一致している。実験結果の分析から、実験装置の加力フレームが原因で柱の反曲点高さが中央からずれることにより終局強度が10%低下する結果となった。この影響を考慮して柱の有効長さをを用いた解析結果はフレームの水平荷重に対する実験結果との良好な対応関係を示した。

コンクリートブロック(CB)壁を有する鉄筋コンクリート造架構に対する実験および解析では、圧縮域における柱と壁の相互作用により粗積造壁が側柱の曲げ変形能を低減させることを明らかにして、CBモデルおよびASFIモデルとの組み合わせにより、実験結果との良好な対応の解析結果が得られている。また、ASFI法による耐震壁の解析では、軸 - せん断モデルの引張構成則を修正することにより、実験結果と良好な相関関係が得られている。さらに、過去に実施されたはりの実験を対象に検討を行い、はりに対する解析結果でも実験結果と良好な対応関係を得ている。

FEMによる解析結果とも比較してASFI法の有効性を確認している。FEM解析プログラムを用いてせん断型、せん断 - 曲げ型、曲げ型RC柱に対する解析を行い、終局強度および終局変形までの荷重 - 変形関係は概ね実験結果とも良好な相関関係が得られている。解析による荷重 - 変形関係の包絡線と実験結果との比較からASFI法による結果がFEM解析に比べて、むしろ良好な対応関係である、としている。特に、ASFI法はポストピーク挙動を精度よく再現することが可能であるが、FEM解析では応力が集中した要素に局部破壊が生じ、その影響で破壊モードの形成前に解析が発散する傾向がある。

以上のように、本論文は、軸力 - 曲げ - せん断の相互作用を考慮して耐力低下を含む鉄筋コンクリート部材の崩壊挙動を合理的に評価しうる新しいモデルを提案して、既往の実験的研究により広範にその適用精度を確認したものであるが、提案されたモデルは今後の解析手法や設計基準および診断基準の普遍的な背景にもなりうる独創的かつ簡易なモデルであり、耐震工学の発展に大きく貢献している。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。