

建築構造物の非線形挙動の解明とその応用に関する一連の研究

和田 章 …… 東京工業大学教授



◆はじめに

建築構造物は、常時に作用している重力による鉛直荷重のほか、地震、風による外乱を受ける。これらの外乱が大きくなると、建築構造物は弾性変形の後、鋼材の降伏、コンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏を伴った塑性変形を生じ、最終的にはその変形が大きくなり崩壊する。建築構造物の設計は、外乱の大きさに対して構造物に生じる変形または損傷の状況を調べ、その外乱の起きる頻度に応じた判断に基づき、構造物の置かれる状態が許容域・安全域にあることを確認することによって行われる。さらに、動的な外乱である地震動に対する設計では、構造物の強度だけでなく、構造物の変形能力の確保が重要である。合理的な構造設計法の確立のため、さらには、ますます大型化・複雑化する建築構造物の構造設計を確かなものにするために、建築構造物が大きな外乱を受け、その力学的な挙動が弾性かつ線形な領域を越え、非線形な挙動を生じるまでの状況を正しく把握する必要がある。

このたび学会賞を受けた研究は、この基本的考えに基づき行ってきた建築構造物の非線形挙動の解明とその応用に関する一連の研究をまとめたものである。主な研究を取り上げその内容を説明する。

◆鋼構造骨組の非線形解析理論

鋼構造骨組を対象に材料の降伏を考慮するために生じる材料非線形性と構造物の変形が有限であることを考慮するために生じる幾何学的非線形性を複合して考慮に入れた数値解析法に関して論じた。

「筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性解析に関する研究」では、繰り返し軸力を受ける部材の力学的挙動に関する数値解析を各種条件のもとに行い多くの結果を示した後、高層建築の耐震要素として使われている筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性解析を行い、実験結果との比較検討を通して、この理論の有用性を示した。この研究に取り組んだ時期においては多くの記憶容量を必要とすることが難点であったが、電子計算機の能力が進んだ現在において、この方法は効率も良く、数値計算上の安定性も高いため非常に有用である。

「鋼構造骨組の三次元非線形解析」は、上記の理論を三次元問題へ拡張した研究である。数値解析によって、軸力と二軸曲げを受ける柱材の非線形挙動、一様曲げを受ける梁材の横座屈後の挙動について論じた後、面外座屈する筋違を持つ鉄骨骨組の弾塑性挙動を追跡し、実験結果を良く説明できることを示した。

◆鋼構造骨組の非線形挙動の解明とその応用

上で論じた内容を発展させて行った鋼構造骨組の非線形挙動の解明とその応用に関する研究について論じた。

「繰り返し荷重をうける鋼構造骨組の三次元弾塑性有限変位解析に関する研究」は、繰り返し軸力を受ける鋼構造部材の弾塑性挙動がその部材の構成要素の幅厚比によって異なることを数値解析によって解明した研究である。両端をピン支持されたH形鋼部材が中央断面の塑性化を伴って座屈するとき、板要素の幅厚比が小さいときには断面の形状が保たれ線材理論と同様の力学的性質が得られるが、板要素の幅厚比が大きいときには局部座屈の発生により断面の持ちうる降伏曲線が縮小化し耐力劣化が激しくなることを示した。

◆複合構造物の非線形挙動の解明とその応用

鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造などの複合構造

物を対象に行った非線形挙動の解明に関する研究について論じた。

「3要素 Maxwell モデルを用いた鉄筋コンクリート骨組の地震応答解析法」は、コンクリート材料の受けるひずみ速度の影響を評価した解析法に関する研究である。一般に変形速度が大きくなるほど部材の耐力も上昇するため、ひずみ速度の影響は構造計算、数値解析において無視されていることが多いが、静的な実験と、地震時の変形速度を考慮した実験を比較すると、明らかに異なった力学的性質を発揮する。ここでは材端ばねモデルに3要素 Maxwell モデルを用いた鉄筋コンクリート骨組の地震応答解析法を展開し、実験結果との比較、4層1スパンの骨組の応答解析結果を示した。

「Deformation Capacity of SRC Beam Using High-Strength Steel」は、降伏比が0.9程度の高い降伏比を持つ60 kg/cm² 鋼を用いた鉄骨鉄筋コンクリート梁の実験とコンクリートのひずみ軟化を考慮した数値解析に関する研究である。実験・解析ともに梁端の溶接部に設けたスカーラップの影響に注目して行った。特に降伏比の高い鋼材の場合、塑性変形の繰り返しによってひずみがスカーラップ近くに集中し脆性的な破壊が生じること、スカーラップをなくした試験体、降伏比が0.7程度の普通鋼材を用いた試験体では、脆性破壊が防止できることを示した。

◆建築構造物の非線形動的挙動の解明とその応用

非線形動的の問題に関する研究を、鋼構造骨組の非線形挙動を考察するうえで必要となる動的問題を扱った研究と、構造物の地震時の応答に関する研究について論じた。

「二方向地震動を受ける無限均等ラーメン構造の弾塑性応答性状」では、ラーメン構造の耐震設計において梁に比べ柱を強く作り全体崩壊型を形成する方法が用いられることに関して、二方向入力を受ける場合は、対象を平面ラーメンとして考えている場合に比べ、梁が降伏しにくくなることに注目した。

「Dynamic Analysis of Base Isolated Structure using Various Numerical Models」は、免震構造の動的解析、実際の免震構造にて記録された結果と各種のモデルを用いて行った数値解析結果の比較等について発表した論文である。免震構造に用いられる積層ゴムと、ダンパーの力学的性質は平面方向に方向性のないものが用いられることが多い。これらが弾性的に挙動している間は二方向の性質は相互に影響しないが、塑性状態になるとその降伏曲線が円で表せるため二方向の性質は相互に影響する。ここでは、MSS (Multiple Shear Spring) モデルを提案し、二方向地震動を受ける免震構造の非線形挙動を明確にした。

◆おわりに

この研究をまとめるに当たって、高強度化される新材料の活用、新しい構造システムの開発、合理的な設計法の確立も含め、これまで進めてきた研究をさらに進めなくてはならないと考えている。

このたびの受賞に際し、研究の厳しさ、楽しさ、夢を教えてくださいました藤本盛久先生、須藤福三先生、黒正清治先生をはじめ多くの先生方、このたびの応募を助めてくださった矢野克巳先生、久徳敏治先生に心よりお礼申し上げます。また、研究・開発を進めるに際し多くのことを教えてくださいました先輩、同輩、後輩の皆様、一緒に研究をしてきた研究室の卒業生の皆様に感謝いたします。