

## 論文の内容の要旨

論文題目 立体柱梁接合部マクロエレメントによる  
柱梁強度比が小さいRC架構の挙動に関する研究

氏 名 金 秀 禧

本研究は、柱梁接合部が降伏する鉄筋コンクリート造架構の弾塑性挙動に関する解析的研究である。

鉄筋コンクリート造架構の地震時の目標性能の保証と確認の為に、弾塑性地震応答解析が必要である。現行のRC建物の耐震設計では、梁曲げ降伏型の破壊形式を目標とし、柱梁接合部はせん断強度の確保によって破壊を起こさせないこととしている。従って、RC骨組の非線形解析では、柱梁接合部を剛域と仮定することが多い。しかし、柱梁曲げ強度比が1.0に近いと、接合部せん断強度によらず接合部内の主筋の塑性化に伴う接合部降伏が生ずることが知られており、接合部降伏が生ずる架構の地震時の応答性状を明らかにする必要がある。また、RC柱梁接合部には、層間変位を一定に保持して、直交方向への加力する時、層間変位を保った方向の耐力が低下する2軸相互作用があることが知られている。よって、2方向地震力を同時に受けるRCラーメン構造の解析には、接合部において2軸相互作用を考慮できる部材モデルを用いなければならない。本研究の第一の目的は、水平2方向地震力を受けるRC柱梁接合部の非線形挙動を表せる立体柱梁接合部モデルを提案することである。第二の目的は、構築した立体柱梁接合部モデルを取り入れた立体骨組モデルを作成し、1方向地震力及び2方向地震力に対するRC架構の弾塑性挙動を検討するとともに、従来の柱梁接合部の非線形挙動を無視した解析手法による結果との比較を通じて、接合部降伏が架構の地震応答性状に及ぼす影響を明らかにすることである。

本論文は、以下のように構成されている。

### 第1章 序論

1章は、本研究の背景と研究の目的および意義について述べている。

### 第2章 既往の研究

2章は、過去に生じた鉄筋コンクリート柱梁接合部の地震被害、現行の柱梁接合部の設計法に

ついて述べ、柱梁接合部の数値解析モデル及び2方向水平力を受ける柱梁接合部に関する既往の研究についてまとめている。

### 第3章 解析モデル

3章では、本論で提案する立体柱梁接合部マクロエレメントの構成および剛性マトリックスの作成と解析手法について詳述している。

立体柱梁接合部マクロエレメントの構築に当たって、水平2方向地震力に対し、柱梁接合部内には2方向に独立する圧縮ストラットが生じると仮定した。立体柱梁接合部マクロエレメントは、柱と梁端部の平面保持を表す6つの剛版と、対角方向と水平および鉛直方向のコンクリートばね、そして、鉄筋と付着すべりばねで構成されている。本章では、各一軸ばねの幾何学的配置と寸法および本論で用いた材料モデルの構成則について詳述している。柱および梁は、線材に置き換え、材軸方向の応力分布を力の釣合により定める Force-Based Element よりモデル化している。また、材軸方向には複数の積分点を設け、その積分点はファイバー断面としてモデル化している。柱および梁要素の剛性マトリックス作成および弾塑性解析法についても本章で詳述している。

### 第4章 水平1方向加力を受ける柱梁接合部部分架構の実験と解析結果の比較

4章では、水平1方向加力を受ける十字型柱梁接合部部分架構の解析を行い、実験結果と比較を通じてモデルによる解析精度について検討している。

柱梁接合部マクロエレメントを用いた解析結果は、主筋の降伏点、最大強度、破壊モードおよび履歴性状について実験結果をよく模擬できることを示している。なお、主筋量、柱梁強度比、主筋間距離、接合部アスペクト比といった影響因子が柱梁接合部の耐震性能へ及ぼす影響についても、解析結果が実験結果の傾向をよく追跡できたこと示している。大変形繰り返し加力を受ける柱梁接合部の解析結果は、最大耐力後の耐力低下の度合について実験値とよい対応が見られた。しかし、接合部変形成分について実験値と解析値を比較したところ、変形が小さい範囲で接合部変形角を過大評価する傾向が見られ、それは、接合部の抜け出し変形量を考慮して最初から接合部内の通し主筋の剛性を低減させたことが原因であると思われる。また、柱梁強度比が大きい試験体に対して、主筋の歪硬化を無視する場合、履歴吸収能を過小評価する可能性があることが確認されている。

### 第5章 水平2方向加力を受ける柱梁接合部部分架構の実験と解析結果の比較

5章では、水平2方向加力を受ける柱梁接合部部分架構を対象とした解析結果を実験結果と比較し、柱梁接合部マクロエレメントの妥当性と有効性について記述している。解析対象は、1方向へ梁を有するスラブ付柱梁接合部、2方向へ梁を有するスラブ付内部柱梁接合部、そして外部柱梁接合部である。解析ケースとしては、柱梁接合部の非線形挙動を考慮した解析、柱梁接合部を剛と仮定した解析、そして、柱梁接合部の非線形挙動を考慮するが、試験体の柱の強度を十分に大きくしたものを対象とする解析を行った。

立体柱梁接合部マクロエレメントによる解析結果は、実験結果の最大耐力、剛性、履歴性状をよく模擬でき、1方向の変形を保ったまま、直交方向の加力及び叙荷時に、変形を保っていた方向の耐力が低下する2軸相互作用を表すことができた。柱梁接合部の変形を無視した解析では、強度と履歴面積を過大評価し、力の2軸相関性を表せなかった。なお、柱梁曲げ強度比を大きくした場合、梁曲げ降伏型の破壊形式となり、履歴性状は太ったループ形状となることが確認されており、柱梁接合部マクロエレメントは、接合部降伏型や梁降伏型の各破壊形式に対応できることを示している。

## 第6章 平面骨組モデルを用いた地震応答解析

6章では、柱梁接合部マクロエレメントを用いた平面骨組モデルより、柱梁接合部降伏が生じる架構の地震応答性状について検討している。4層および8層建物を対象に、柱梁曲げ強度比を主なパラメータとし、建物の倒壊余裕度に着目した検討を行った。また、従来の柱梁接合部の非線形挙動を無視する解析方法による結果と比較を行っている。

柱梁接合部の非線形を考慮した場合は、柱梁接合部降伏によって特性の層に変形が集中する層崩壊が生じやすく、ダイナミックスプッシュオーバー解析では、地震動のある入力レベルで、変形角が著しく増大し、骨組が倒壊することが確認されている。一方、接合部の非線形を無視した解析では、全層に渡って損傷が分散される傾向となり、地震動の入力を大きくしても、骨組の崩壊が生じにくいことが確認されている。よって、柱梁接合部の非線形挙動を無視する解析法では、架構の層崩壊の危険性を見逃す可能性があり、骨組が倒壊する入力地震動のレベルが接合部の塑性化を考慮する場合に比べ大きくなる。

余震の影響を想定し、地震動を2回入力する解析を行った結果では、柱梁接合部降伏によって耐力低下が生じ、2回目に入力する地震動のレベルが1回目の入力レベルより小さくても骨組が倒壊する可能性があることが確認されている。

## 第7章 立体骨組モデルを用いた地震応答解析

7章では、立体骨組モデルを用い、柱梁強度比および荷重の方向をパラメータとした解析を行い、2方向水平力に対する立体骨組の弾塑性挙動について検討している。

荷重の入力方向を $0^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$ に変化させた静的増分解析結果では、構面方向の柱梁強度比が $\sqrt{2}$ の骨組について、斜め方向における強度曲線が円弧状に変化し、方向による骨組の強度の変化が小さかったが、柱梁強度比2.5の骨組については、水平2方向の梁の耐力が有効となり、 $45^{\circ}$ 方向での架構の強度が最も大きい結果を得られている。

地震応答解析では、地震動の主軸方向から建物の構面方向が $\theta$ だけ傾いた建物を想定し、 $\theta$ を $0^{\circ}$ ~ $90^{\circ}$ に変化させながら、地震動の強軸の1軸地動を入力するケースとそれに弱軸地動を加える2軸地動入力ケースについて地震応答性状を検討した。その結果、1軸地動を建物の構面方向に入力した時の最大層間変形角に比べて、建物の方向角の変化および2軸地動入力によって応答変形角が増幅するケースは一部であり、大多数のケースについては、建物の方向角と弱軸地動を

加えることによる影響は小さい結果が得られている。2 軸地動入力時に、建物の変形方向が構面方向から 45°方向に卓越する場合に最大層間変形角が生じる傾向が見られ、これは、柱梁強度比  $\sqrt{2}$  の場合、建物の構面方向から 45°方向における柱梁強度比が 1.0 となり、他の方向より相対的に弱い方向となったためだと思われる。また、柱梁強度比  $\sqrt{2}$  の骨組は、建物の方向角によらず、ほぼ同程度の耐力を示すが、柱梁強度比 2.5 の骨組では、架構の 45°方向で最も耐力が大きいことが確認されている。

## 第 8 章 結論

本論のまとめと今後の課題について述べている。