

# 3次元 FEM を用いた梁偏心 RCS 造柱梁接合部の応力伝達に関する解析的研究

建築学専攻 2326005 田部井 優輝  
研究指導教員 北野 敦則

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁構造(以下、RCS 構造)は、柱を圧縮に強い RC 造、梁を曲げやせん断に強い S 造とした材料の力学的特徴を活かした構造である。この構造は物流センターや大型倉庫等で広く用いられている。現在刊行されている「鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁混合構造設計指針<sup>1)</sup>」において、S 梁の材芯が RC 柱芯に対して偏心して結合される柱梁接合部については、付録による研究事例の紹介に留まっており設計方法は規定されていない。梁が偏心すると柱にねじれが生じ梁から柱への応力伝達に影響を及ぼすと考えられるが、偏心接合部に関する実験データが少ないため、応力伝達機構が十分に解明されていないのが現状である。

そこで、本研究では、梁偏心を有する梁貫通形式ふさぎ板タイプの RCS 構造柱梁接合部について、3次元有限要素法解析を用いた精度の高い解析モデルの作成と柱梁接合部の応力伝達について検証を行った。

## 2. 解析対象実験概要

### 2.1 試験体諸元

図 1 に試験体概要、図 2 に接合部詳細図を示す。本研究で解析対象とする実験は長濱らの研究<sup>2)</sup>で実施された、梁貫通形式ふさぎ板タイプの偏心なしの標準試験体および S 梁が 70 mm 偏心して取り付く偏心試験体の 2 体とする。柱断面は 350×350 mm、主筋が 12-D16 および帯筋が 2-S8@60 である。S 梁および直交梁は BH-250×85×9×25 および BH-250×100×6×12 である。使用材料の物性値を表 1 にそれぞれ示す。

### 2.2 加力方法

図 3 に加力装置を示す。RC 柱両端をピン支点、S 梁両端をローラー支点とし、RC 柱に一定軸力(軸力比 0.18)を導入後、S 梁端に層間変形角 R=0.5, 1, 1.5, 2 および 3 %rad. の正負 2 回繰り返し載荷を行った後、R=50 %rad. まで正載荷側へ単調載荷した。

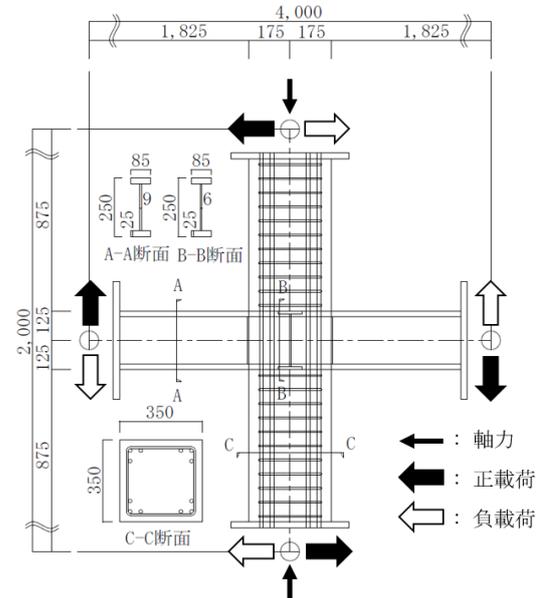


図 1 試験体概要

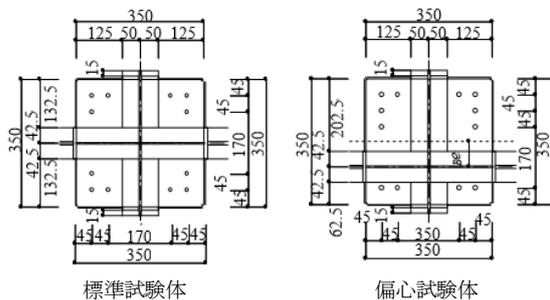


図 2 接合部詳細図

表 1 材料物性値

使用材料	降伏点	引張強度	ヤング係数	
加力梁フランジ	PL-25	350	515	210953
直交梁フランジ	PL-12	366	535	213661
加力梁ウェブ	PL-9	394	562	215200
直交梁ウェブ	PL-6	372	525	207353
接合部	PL-6	316	429	207135
ふさぎ板	PL-3.2	274	426	202058
主筋	D16	403	599	195571
使用材料	圧縮強度	割裂強度	ヤング係数	
コンクリート	38.0	3.04	24053	

(単位 N/mm<sup>2</sup>)

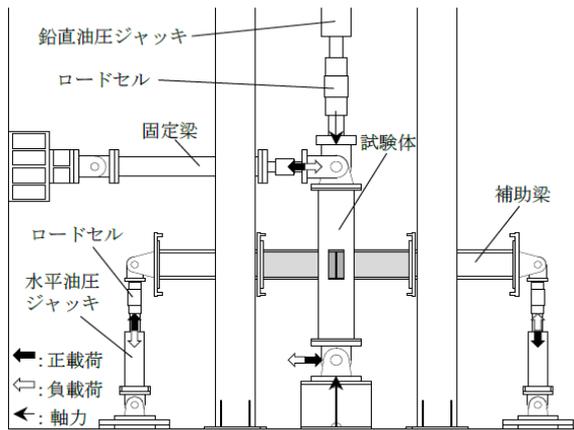


図3 加力装置

### 3. 解析概要

#### 3.1 解析手法とモデル化

偏心試験体の解析モデルを図4に示す。本研究では有限要素法解析プログラムとしてFINALを使用した。試験体のモデル化について、標準試験体は対称性を考慮して加力軸を対象軸とした1/2モデル、偏心試験体はフルモデルとした。

コンクリートは六面体要素、鋼板は面外曲げ特性を考慮した積層シェル要素とした。柱主筋は線材要素、せん断補強筋は埋め込み鉄筋要素を用いて接合部を除く柱全体に一様に分散させてモデル化した。鉄筋-コンクリート間はLINE要素、鋼板-コンクリート間にはFILM要素を設け付着のモデル化を行った。

#### 3.2 構成則

図5に解析に用いた各種構成則を示す。コンクリートの軸方向特性は圧縮側を修正Ahmadモデル<sup>3)</sup>、引張側は引張強度までは線形で軟化域をテンションスティフニング特性を考慮した出雲らのモデル<sup>4)</sup>を適用して、係数は接合部内の梁フラン

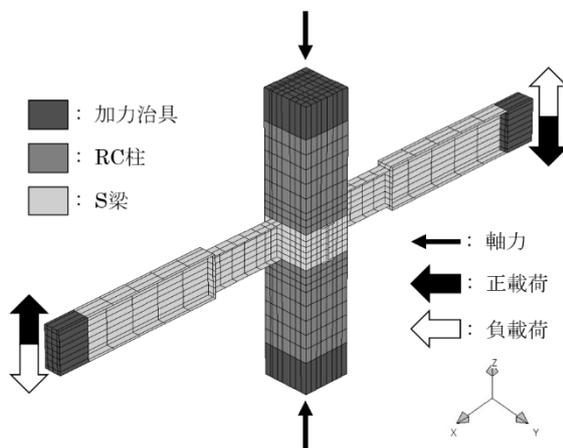
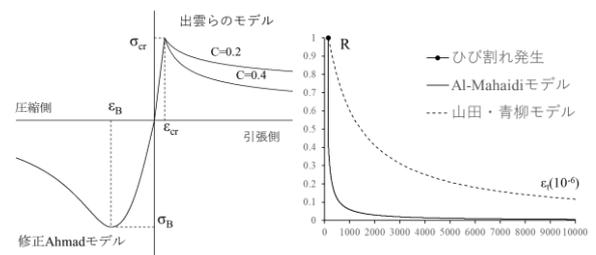
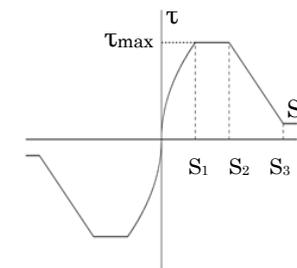


図4 解析モデル

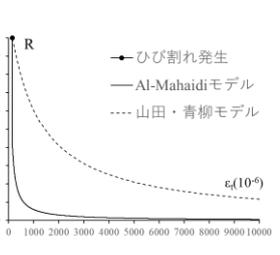
ジと直交梁フランジに囲まれた部分のコンクリートを強い拘束下にあると考え応力低下が緩やかな $c=0.2$ 、他の部分を $c=0.4$ とした。接合部内コンクリートのひび割れ後のせん断伝達特性はせん断剛性の低下が緩やかな山田・青柳のモデル<sup>5)</sup>とし、柱コンクリートにはAlmahaidiのモデルを用いた。破壊条件はWilliam-Warnkeの5パラメータモデルに大沼らの実験係数を採用したものを用いた。鋼材の応力-ひずみ関係はバイリニアモデルを適用した。除荷・再載荷剛性は弾性剛性とし、ひずみ硬化則は等方硬化則とし降伏後の剛性は1/100とした。降伏条件にはミーゼスの降伏条件を適用した。主筋とコンクリート間の付着はElmorsiriらのモデルを適用した。鋼板とコンクリート間について、垂直方向は圧縮方向には十分大きな剛性を持ち、剥離方向には設定した強度に達すると接合が解かれるひび割れタイプを採用した。せん断方向については、摩擦係数0.4とした摩擦力のみ伝達するモデルとした。



コンクリートの軸方向力特性

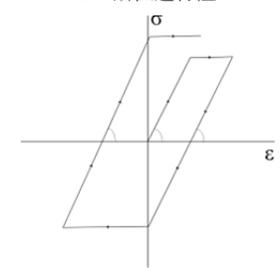


主筋とコンクリート間のせん断伝達特性



コンクリートの

せん断伝達特性



鋼材の繰返し特性

図5 各種構成則

### 4. 解析結果

#### 4.1 荷重変形関係

表2に解析結果の最大耐力の比較、図6に縦軸に柱せん断力(kN)、横軸に層間変形角(%rad.)とした荷重変形関係を示す。荷重変形関係をみると実験値の最大耐力は3%rad.で迎えているのに対して、解析値は2%rad.で最大耐力を迎えているが、解析値は実験値と非常に近い曲線を描いているた

め、実験値を概ね再現できている。実験値の梁偏心による耐力低下は 19kN に対して解析値は 9kN と小さくなったが、実験値との差は小さく実験値を良好に再現できているといえる。

表 2 最大耐力の比較

	標準試験体	偏心試験体
実験値	203 kN	184 kN
解析値	197 kN	188 kN

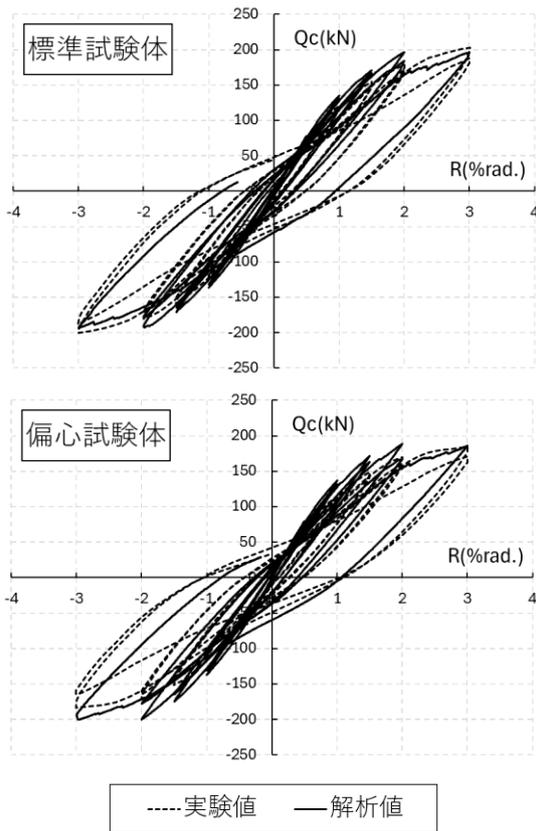


図 6 荷重変形関係

#### 4.2 柱梁接合部各構成要素の応力負担

標準試験体と偏心試験体の柱梁接合部を構成する抵抗要素(コンクリート、ウェブ、ふさぎ板)の応力状態を比較して、梁偏心による接合部の応力状態への影響を考察する。

##### 4.2.1 コンクリート

接合部コンクリートをウェブで分けて各部分のコンクリートが負担するせん断力を比較する。図 7 に縦軸にせん断応力(N/mm<sup>2</sup>)、横軸に層間変形角(%rad.)とした各部分のコンクリート負担せん断応力を示す。せん断力は接合部パネル中央位置の要素せん断力の和として算出して、各要素の上面積で割り、せん断応力とした。図より、2 %rad.

時までは各部分とも負担するせん断応力に大きな違いはないが、3 %rad.時に偏心側コンクリートの値が大きく低下していることが分かる。

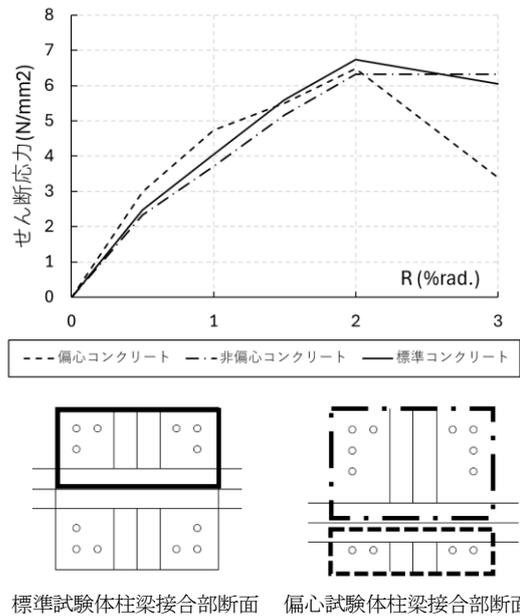


図 7 各部分のコンクリート負担せん断応力

図 8 に接合部コンクリートの最小主応力図を示す。コンターのスケールは最小値を-40 N/mm<sup>2</sup>、最大値を-5 N/mm<sup>2</sup>として応力が生じている部分を分かりやすくしている。直交梁が見える面を正面、S 梁が見える面を側面と呼ぶ。図より、3 %rad.時の偏心試験体には、正面コンクリートに斜め圧縮ストラットが形成されていないことが分かる。これは、側面のコンクリートに形成される梁フランジ付近からふさぎ板に向かって対角線を描くように形成される圧縮ストラットと、層間変形角が小さい段階で起こる梁フランジ付け根位置の圧縮応

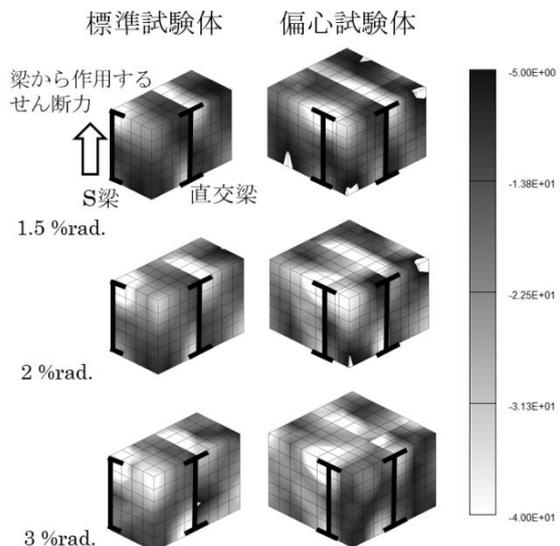


図 8 接合部コンクリートの最小主応力図

力の集中が梁偏心により重なり、偏心側コンクリートに応力集中が生じたことが原因であると考えられる。

#### 4.2.2 ウェブ、ふさぎ板

図9に接合部ウェブの負担せん断力の比較とふさぎ板の負担せん断力の比較を示す。せん断力の算出はコンクリートと同様に行った。ふさぎ板の値は手前と奥のふさぎ板2枚の和となっている。図より、ウェブの負担せん断力に大きな差はないため、梁偏心による影響はほとんどないといえる。

ふさぎ板に関しては標準試験体に比べて、偏心試験体の方が負担するせん断力がやや大きくなった。これは、ふさぎ板の変形に対して抵抗する、接合部の正面コンクリートに形成される斜めの圧縮ストラットが偏心側では早期に損傷するため、ふさぎ板の負担分が大きくなること、偏心側ふさぎ板は梁に近い位置にあるため梁からより大きな力の入力を受けることが原因であると推測される。

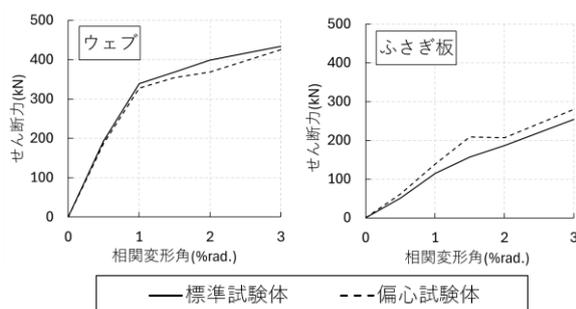


図9 ウェブ、ふさぎ板それぞれの負担せん断力の比較

### 5. 偏心量の影響

梁の偏心距離によるふさぎ板の負担せん断力の変化を検討するために、偏心試験体を参考にして、偏心距離のみを35mmとした試験体の解析データの結果を加えて検証を行う。

図10に横軸を梁芯からふさぎ板の距離、縦軸にせん断強度に対する負担せん断力の比を示した。ここでふさぎ板のせん断強度は材料強度を $\sqrt{3}$ で除して断面積をかけた値とする。

図より、ふさぎ板の負担せん断力は梁芯から離れほど小さくなるのが分かる。今回の試験体の柱幅で検証できた範囲では直線的な分布を示す結果となったが、さらに柱芯から離れた場合の挙動は不明であるため、より柱幅の大きな試験体で検証を行う必要がある。この点については今後の検討課題である。

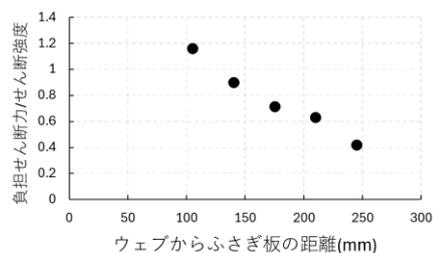


図10 ふさぎ板の負担せん断力と距離の関係

### 6. まとめ

- 長濱らの研究の実験データを参考に、3次元有限要素法による解析を行った結果、解析結果は概ね実験値を再現できた。
- 解析結果の応力状態を詳細に調べた結果、偏心試験体では柱梁接合部側面コンクリートに生じる圧縮ストラットと梁フランジ付け根位置の圧縮応力の集中が梁偏心により重なることで、偏心側コンクリートが早期に損傷してせん断力の負担分が小さくなる結果となった。
- 接合部せん断負担分は、ウェブについては梁偏心による影響はほとんどないこと、ふさぎ板については偏心試験体の方が負担せん断力がやや大きい結果となった。
- 今回対象とした試験体で検証できる範囲では、ふさぎ板の負担せん断力は梁芯から離れる程小さくなり、直線的に分布することを示した。この範囲外のふさぎ板の負担分については今後の検討課題となる。

### 参考文献

- 日本建築学会：「鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁混合構造設計指針」、pp.85-87, 2021.
- 長濱聖実、田村真吾、馬場望：「鉄骨梁が鉄筋コンクリート柱に偏心して結合される柱梁接合部の終局耐力の評価」、コンクリート工学年次論文集、Vol145, No. 2, pp.745-750, 2023.
- 長沼一洋：三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係、日本建築学会構造系論文集、第474号、pp.163-170, 1995.
- 出雲淳一、他：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル、コンクリート工学論文、No.87.9-1, pp.107-120, 1987.
- 山田一字、青柳征夫：ひび割れ面におけるせん断伝達、第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集、日本コンクリート工学協会、JCI-C5, pp.19-26, 1983.