

論文 RC立体骨組内の偏心柱・梁接合部の耐震性能に関する解析的研究

柏崎 隆志*1・高橋 誠*2・野口 博*3

要旨: 地震力を受ける RC 立体骨組内の柱・梁接合部は、周辺部材と相互に連動し合うため、柱・梁接合部単体の挙動とは異なると考えられる。特に、偏心柱・梁接合部は、ねじりモーメントやスラブ、直交梁の拘束効果等の影響を受けるため、周辺部材との相互関係を把握することが重要である。本研究では、3次元非線形 FEM 解析により、梁の偏心量が柱・梁接合部の耐震性能に与える影響について解析的に検討した。FEM 解析により実験結果の検証を行い、さらに偏心梁による柱・梁接合部のねじれは、スラブの取り付け領域が大きいほど抑制されることを確認した。

キーワード: 鉄筋コンクリート, 骨組, 柱・梁接合部, 偏心, 耐震性能, 有限要素法

1. はじめに

地震力を受ける RC 実構造物内の各部材の挙動は、周辺部材と相互に連動し合うため、部材単体の挙動とは異なると考えられる。特に、骨組内の偏心柱・梁接合部は、ねじりモーメントやスラブ、直交梁との相互作用の影響を受けるため、柱・梁接合部単体の実験や解析ではその相互関係を十分に把握することは難しい。骨組内の柱・

梁接合部の地震時挙動について、立体的な影響を考慮した研究は数少ないのが現状であるが、その中でも、林ら¹⁾は2層2スパンの RC 立体骨組の正負交番繰返し載荷実験を行い、梁偏心が周辺部材に及ぼす影響について検討した。

本研究では、林ら¹⁾の梁偏心接合を有する RC 立体骨組を対象として3次元非線形 FEM 解析を行った。FEM 解析により実験結果の検証を行い、さらに偏心柱・梁接合部の耐震性能について検討した。

表 - 1 材料特性

鉄筋			
種類	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	
主筋	345	1.80×10 ⁵	
柱補強筋	1270	2.06×10 ⁵	
梁補強筋	1020	1.75×10 ⁵	
スラブ筋	530	2.09×10 ⁵	
コンクリート			
試験体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	
N-e00	2層	21.2	1.67×10 ⁴
	1層	23.8	1.63×10 ⁴
	スタブ	42.9	2.17×10 ⁴
I-e40	2層	22.1	1.68×10 ⁴
	1層	23.4	1.68×10 ⁴
	スタブ	42.5	2.25×10 ⁴
O-e40	2層	22.9	1.69×10 ⁴
	1層	23.1	1.72×10 ⁴
	スタブ	42.0	2.34×10 ⁴

表 - 2 部材断面と配筋

部材	柱	梁	直交梁
断面	160×120	60×100	60×100
主筋	4-D10	4-D10	4-D10
補強筋	U5.0@30	φ 4.3@30	φ 4.3@30

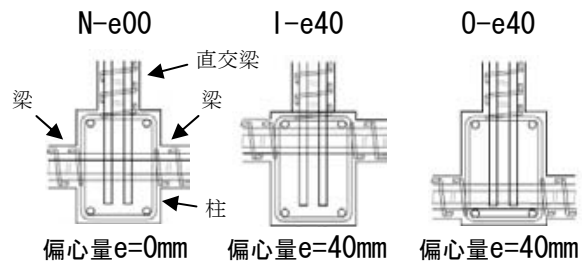


図 - 1 実験変数

*1 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻建築学コース 助教 工修 (正会員)
 *2 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻建築学コース 大学院生
 *3 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻建築学コース 教授 工博 (正会員)

2. 解析概要

2.1 解析対象試験体

林ら¹⁾により実験が行われた梁偏心接合を有する2層立体骨組試験体を解析対象とした。実験変数は、図-1に示すように、梁の偏心量で、梁を柱の軸心から内側と外側に40mm偏心させた。偏心なし試験体をN-e00、内側に偏心した試験体をI-e40、外側に偏心した試験体をO-e40とした。実験変数を図-1に示す。試験体は実大の約1/7スケールで、柱の内法高さが400mm、梁のスパン長さが850mmである。柱断面は $b \times D = 160 \times 120 \text{mm}$ で、主筋としてD10 (SD295A)が4本、横補強筋としてU5.0 ($p_w = 0.4\%$)が30mm間隔で配筋された。また、梁断面は $b \times D = 60 \times 100 \text{mm}$ で、主筋としてD10 (SD295A)が4本、横補強筋として $\phi 4.3$ ($p_w = 0.8\%$)が30mm間隔で配筋された。

実験で使用された材料の力学的特性を表-1に示す。また、試験体の部材断面と配筋を表-2に示す。実験の加力方法は、9.8kNの水平力がピン支持された左右のジャッキから剛性の高い加力梁へ荷重制御により正負方向に1回与えられ、その後は変位制御により層間変形角 $R = \pm 1/400, \pm 1/200$ が1回、 $R = \pm 1/100$ 以降は2回の正負交番繰返し载荷が行われた。加力装置を図-2に示す。なお、層間変形角 R は、スタブと加力梁の相対水平変位を柱高さで除した値とした。

2.2 解析方法

本解析では、野口ら²⁾により開発された3次元非線形FEM解析プログラムを使用した。コンクリート要素には、要素内積分点で剛性評価を行うアイソパラメトリック8節点ソリッド要素を用いた。構成則にはDarwin-Pecknoldの等価一軸ひずみに基づく直交異方性モデルを3次元に拡張したモデルを用いた。応力-ひずみ関係はSaenz式³⁾を用い、圧縮ひずみ軟化域にKent-Park式⁴⁾を用いた。付着によるひび割れ直交方向の引張剛性(テンションスティフニング特性)は白井式⁵⁾により表現した。鉄筋要素は、鉄筋軸方向にのみ剛性を有する2節点線材要素で表現し、応力-ひずみ関係は、バイリニアモデルとした。鉄筋とコンクリート間の付着

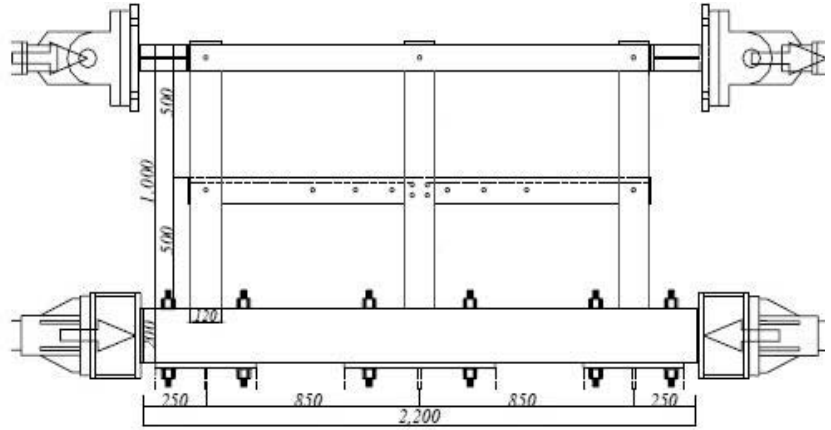


図-2 加力装置

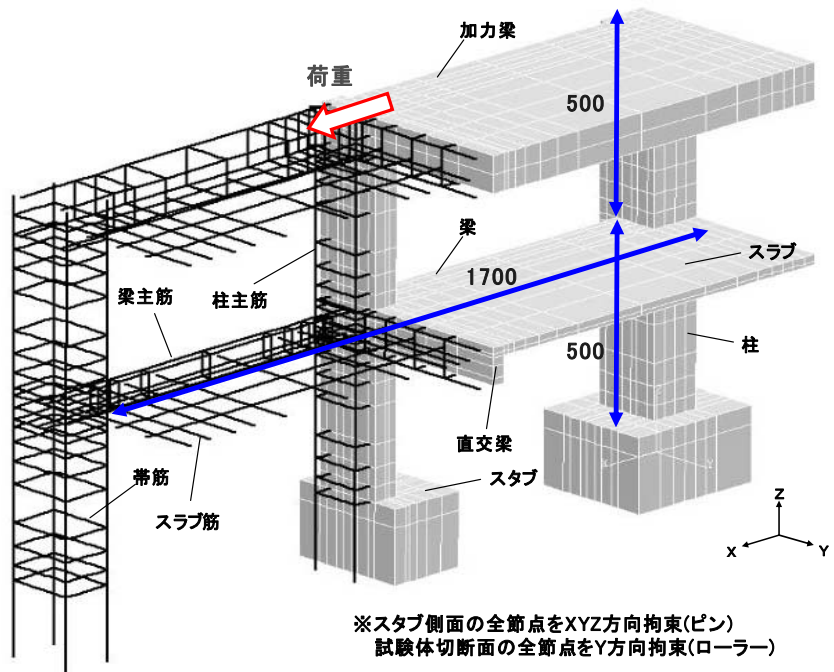


図-3 要素分割と境界条件

応力-相対すべり関係には森田・角モデル⁶⁾を用いた。解析では、柱、梁主筋とコンクリート間には離散型ボンドリンク要素を設け、付着特性を考慮した。なお、本解析で使用した材料特性は、実験に従った。

2.3 要素分割と境界条件

要素分割と境界条件を図-3に示す。図中には右側にコンクリート要素、左側に鉄筋要素を示した。実験では、2層2スパン立体骨組であるが、解析では対称性を利用し、Y方向のスパンの半分を解析対象とした。

境界条件は、スタブをX、Y、Z方向変位拘束し、対称切断面の全節点において、Y方向変位を面ローラー拘束とした。载荷方法については、加力梁中央部の節点にX方向の変位を与えた。

3. 解析結果

3.1 層せん断力 - 層間部材角関係

図 - 4 に層せん断力 - 層間部材角関係を示す。なお、図中の横軸の層間部材角は、実験と同様に、1 階中柱の層間変位を柱高さで除して求めた。

3 つの試験体において、耐力は実験値 (N-e00) と比べやや高くなったが、初期剛性は実験値と良い対応が見られた。また、偏心量の違いによる初期剛性と最大耐力の顕著な差は見られなかった。

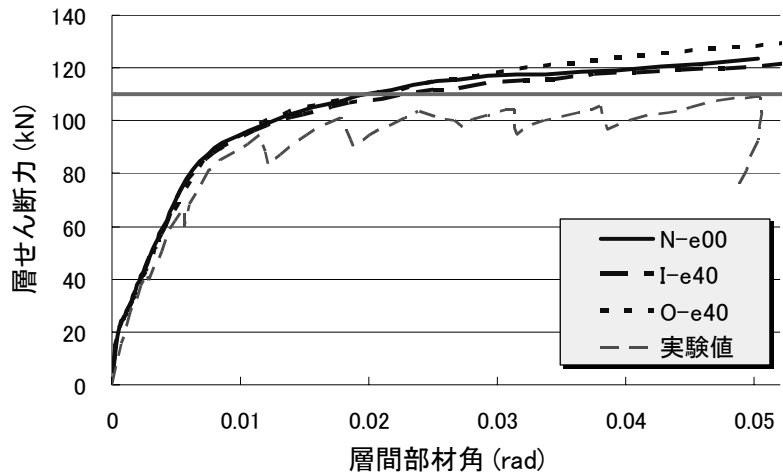


図 - 4 層せん断力 - 層間部材角関係

3.2 降伏メカニズム

偏心なしの N-e00 の最小主応力コンター図 (変形を含む) に、解析と実験の主筋の降伏順序を比較して図 - 5 に示す (図 - 6 には骨組全体の最小主応力コンターを示す)。なお、図 - 5 の最小主応力コンターは、図中央の十字型柱・梁接合部の上下梁主筋が降伏したときの解析結果を表している。

実験時の主筋の降伏順序と比較すると、解析では 2 階柱頭部の柱主筋の降伏が遅れたものの、実験とほぼ同様のプロセスで降伏メカニズムが形成された。

3.3 梁危険断面位置での梁主筋ひずみ状況

図 - 7 に十字型柱・梁接合部の左右の梁危険断面位置での梁主筋ひずみ状況を示す。

偏心なしの N-e00 と内側偏心の I-e40 の解析値は、実験時のひずみ状況と良い対応を示したが、外側偏心の O-e00 の解析値は、実験と比較して早期にひずみが増大し、降伏時層間変形角も小さくなった。

いずれの試験体においても直交方向の梁主筋では、実験と同様に下端筋の降伏が先行し、その後上端筋が降伏した。これより、梁主筋の降伏にはスラブの取り付けが影響していると考えられる。

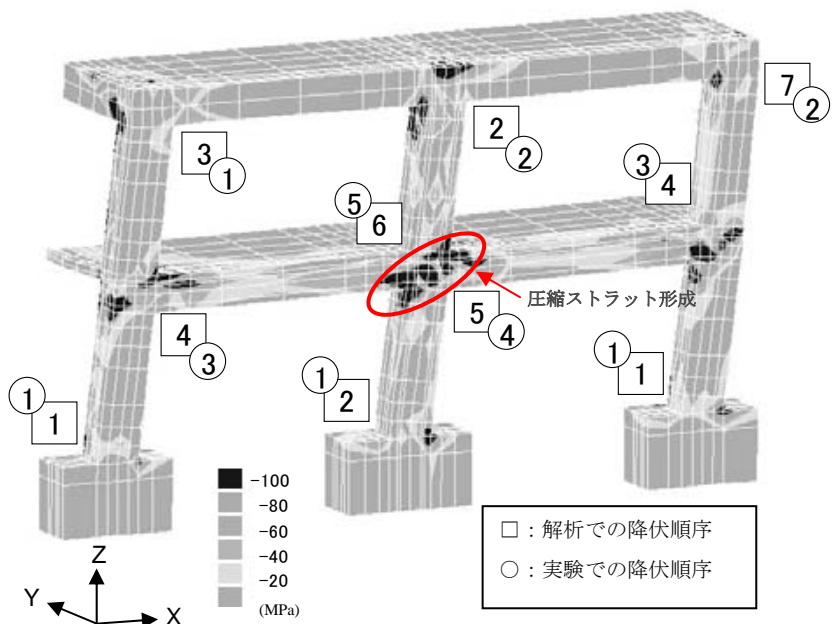


図 - 5 降伏メカニズムと最小主応力コンター (変形×5)

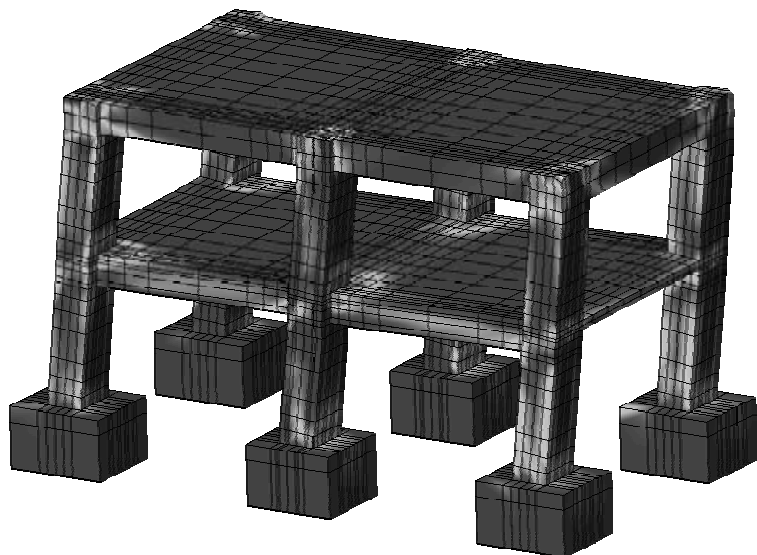


図 - 6 骨組全体の最小主応力コンター

3.4 柱・梁接合部のねじれ変形状

図-8 に解析から得られた接合部コンクリートの最小主ひずみ分布とねじれ変形状、図-9 に層せん断力-ねじれ角関係をそれぞれ示す。ここでは、梁の偏心位置の違いによる面外ねじれ性状について比較、検討する。なお、図-8 において、矢印は回転方向を示す。図-9 において、ねじれ角は、接合部の危険断面位置における中央上下端2点の相対変位を2点の距離で除することによって求めた。ねじれの向きはX軸、Z軸の正方向から見て反時計回りを正とした。

偏心なしの N-e00 の C1-J, C2-J 面において、回転が生じているものの回転方向が等しく、ねじれ角がほぼ同等であったために、ねじれがほとんど生じていない。また梁にもねじれは生じていなかった。内側偏心の I-e40 は、外側偏心の O-e40 と比較してねじれ角が大きく、層せん断力の増大に伴いねじれが増加している。一方、外側偏心の O-e40 は、内側偏心の I-e00 ほどの顕著なねじれの増加は見られなかった。これは、柱へのスラブ取り付け領域が増加することにより、スラブが柱のねじれを抑制したためと考えられる。

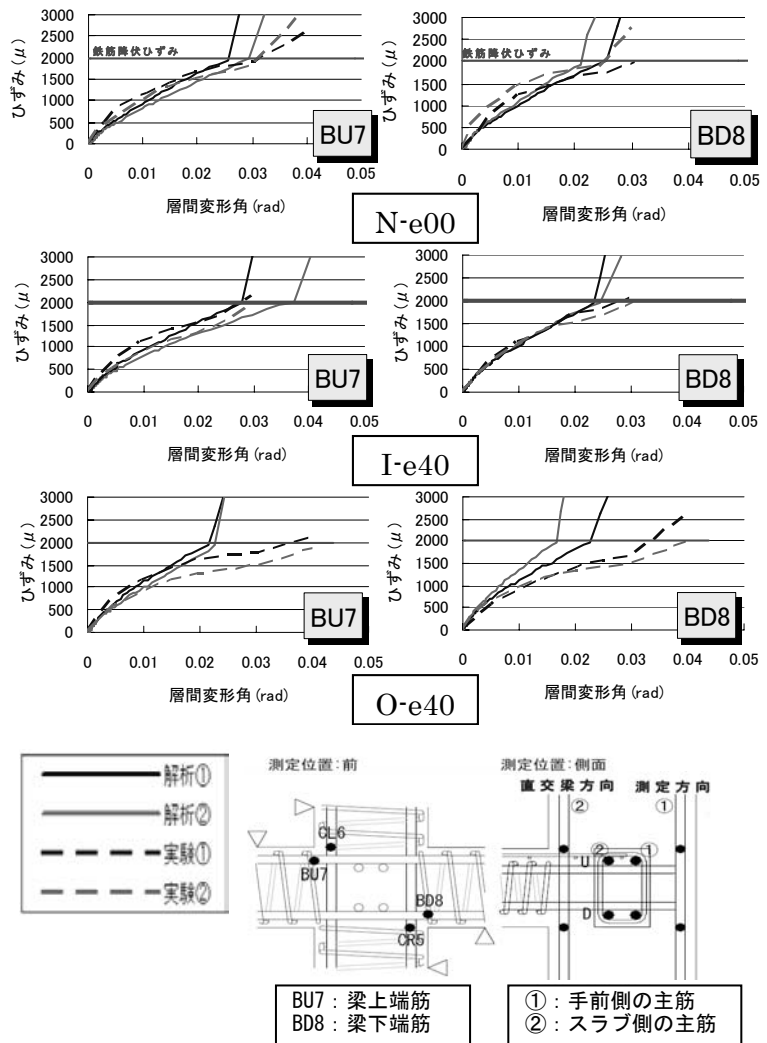


図-7 梁危険断面位置での梁主筋ひずみ状況

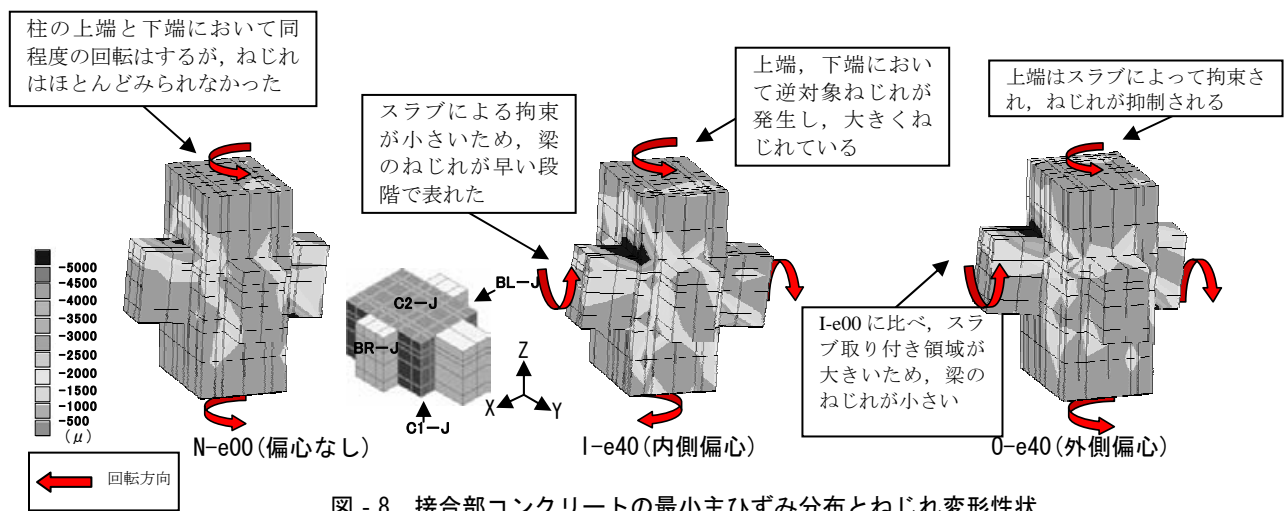


図-8 接合部コンクリートの最小主ひずみ分布とねじれ変形状

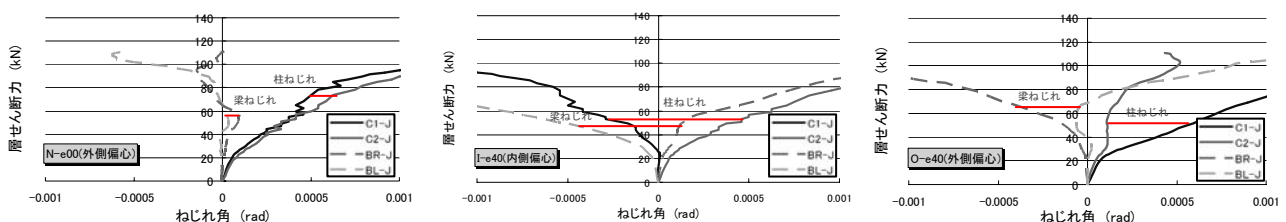
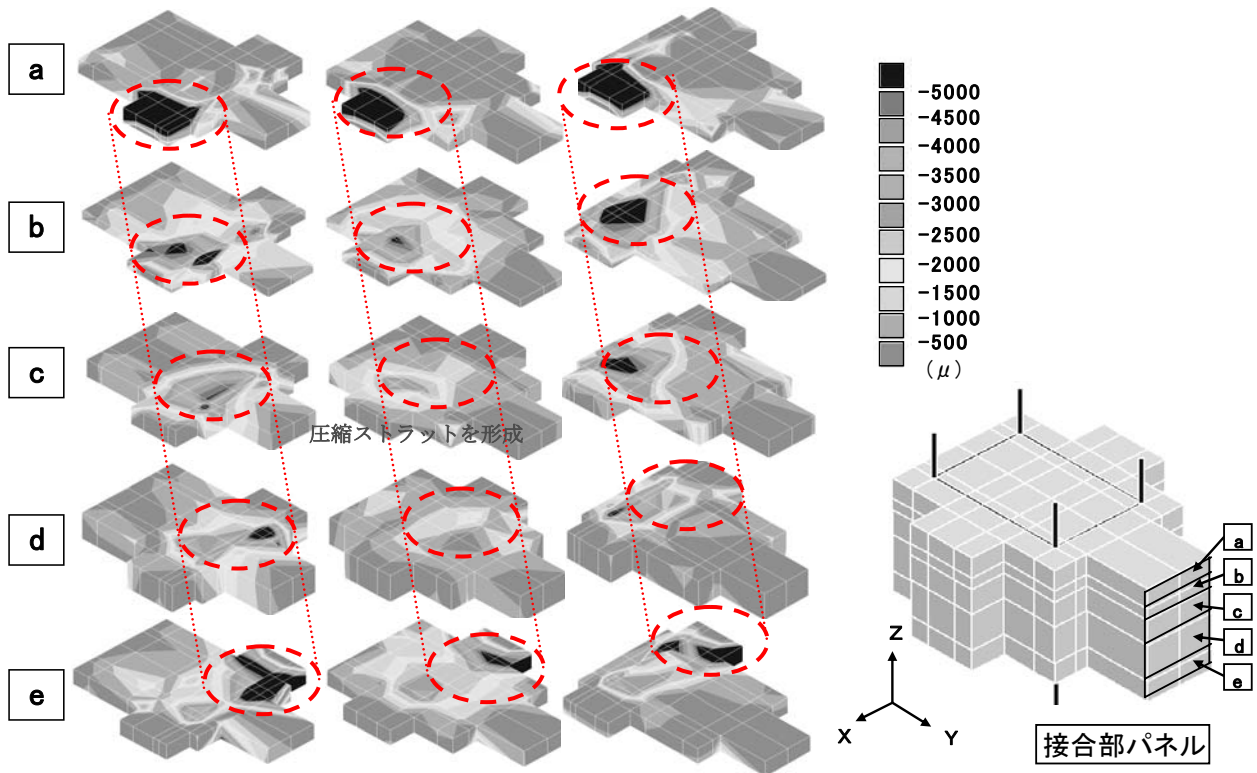


図-9 層せん断力-ねじれ角関係



I-e40(内側偏心) N-e00(偏心なし) O-e40(外側偏心)

図 - 10 接合部内コンクリートの最小主ひずみ分布

3.5 接合部コンクリートの最小主ひずみ分布

図 - 10 に接合部コンクリートの最小主ひずみ分布を示す。

いずれの試験体とも、斜めストラット状の最小主ひずみ分布となり、圧縮応力伝達が確認できる。偏心なし試験体である N-e00 の接合部コンクリートの最小主ひずみはほぼ一様に分布するため、他の試験体と比べてひずみが小さめとなった。一方、偏心試験体である I-e40 と O-e40 では、それぞれ偏心側に最小主ひずみが集中していることが確認できる。すなわち、内側偏心の I-e40 では内側の直交梁とスラブに、また外側偏心の O-e40 では外側の柱面に最小主ひずみが集中している。

4 まとめ

梁偏心量の異なる柱・梁接合部を有する RC 立体骨組の 3 次元非線形 FEM 解析を行い、偏心柱・梁接合部の実験結果の検証、ならびに耐震性能についての検討から以下の結論を得た。

- (1)最大耐力はやや高めであったが、初期剛性や降伏メカニズムの形成については、概ね実験と良好に対応した。
- (2)柱・梁接合部の危険断面位置における直交方向の梁主

筋のひずみ状況について、スラブが取り付くことにより、上端筋の降伏が下端筋の降伏に比べて遅れることが実験と同様に確認された。

- (3)偏心梁による柱・梁接合部のねじれは、柱へのスラブの取り付け領域が大きいほど抑制されることが認められた。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金による基盤研究 (C) (課題番号: 19560563, 研究代表者: 柏崎隆志・千葉大学助教) の一環として行われた。

参考文献

- 1) 川口昌也, 篠田悟, 香取慶一, 林静雄: 梁偏心接合部が立体ラーメン骨組の耐震性能に及ぼす影響 (その 1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, C-2, pp.527-530, 2002 年
- 2) 余勇, 柏崎隆志, 野口博: RC 構造部材の 3 次元繰返し載荷時の FEM 解析プログラムの開発(その 1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, C-2, pp.67-70, 2004 年
- 3) Saenz, L. P.: Discussion of 'Equation for the

- Stress-Strain Curve of Concrete', by P. Desayi and S. Krishnan, Journal of the American Concrete Institute, Vol.61, No.9, pp.1229-1235, 1964
- 4) Park, R., Priestley, M.J.N. and, Gill, W.D. :
Ductility of Square-Confined Concrete Columns, Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, ST4, pp.930-950, 1982
- 5) 佐藤稔雄, 白井信明 : 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究 (その 6, 7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, C-2, pp.1615-1618, 1978 年
- 6) 森田司郎, 角徹三 : 繰り返し荷重下における鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する研究, 日本建築学会論文集, No.299, pp.15-24, 1975 年 3 月