

機関番号：92702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560535

研究課題名(和文) 直交部材が偏心して接合するRC造外柱・梁接合部のせん断設計法に関する研究

研究課題名(英文) Structural Performance of Exterior RC Column with Guider in direction of Out-of-plane

研究代表者

杉山 智昭 (SUGIYAMA TOMOAKI)

大成建設株式会社技術センター 建築技術研究所 建築構工法研究室

研究者番号：50372991

研究成果の概要(和文)：本研究は、直交部材が偏心して接合する鉄筋コンクリート造外柱および柱梁接合部、特に直交梁が接合しない部分の構造性能評価(せん断設計)手法の構築を目的としている。本研究課題では、主としてピロティ階を想定した直交梁が偏心接合する外柱の構造実験を実施し、柱部材一般部から梁接合区間に連続する部位におけるせん断挙動とせん断補強手法について把握し、評価手法構築のための資料を得た。

研究成果の概要(英文)：The target of this investigation is to suggest a method of estimating the capacity (shear strength) of the exterior RC columns with RC guider in direction of out-of-plane. Shear-loading tests were conducted to clarify the structural performance of the RC column and the beam-column joint. The results suggested a mechanism of shear resistance of exterior RC columns with RC guider in direction of out-of-plane. Furthermore, a shear reinforcement technique was obtained by tests.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：建築構造・コンクリート系構造

科研費の分科・細目：工学 建築学 建築構造・材料

キーワード：建築構造, 鉄筋コンクリート造, 外柱, 柱梁接合部, 直交梁, 偏心, せん断, 耐力

1. 研究開始当初の背景

柱・梁で構成される架構型の鉄筋コンクリート(RC)造建物において、梁幅は、柱幅および柱せいよりも小さいことが一般的なため、柱梁接合部では梁の接合しない『出隅』部分が存在することになる。特に建物外周の柱(外柱)では、直交部材(梁)が建築計画上、建物の外側または内側に偏心して接合させる場合があり、この『出隅』が中柱よりも大きい見付面積で存在する。

過去の地震では、上記のように直交梁が偏心して接合したピロティ外柱において、柱頭

部から柱梁接合部の『出隅』部分へ連続するせん断破壊が報告されている。しかし、現在のせん断設計においては、部材一般部と柱梁接合部が区分されており、両者が相関する挙動に対しては、考慮・明確化されていない状況である。さらに、たれ壁・腰壁・壁梁(ウォールガーダー)が接合する場合、また、集合住宅等で見られる構面内の梁と直交梁が段差をもって接合する場合(段差梁・逆梁)では、柱部材と柱梁接合部の区分も明らかでなく、柱部材から柱梁接合部へ連続する部位のせん断設計手法の明確化が求められる。

2. 研究の目的

本研究は、前述の様に直交部材が偏心して接合する鉄筋コンクリート造柱の柱梁接合部、特に直交梁が接合しない部位のせん断挙動を明らかにし、構造的な性能評価(せん断設計)手法の提案を目的としている。

既往の研究では、直交部材(たれ壁・腰壁・梁)のみが接合する柱部材の構造実験を実施してそのせん断性状について把握した。本研究では、既往の研究を受けて、より一般的な架構である、直交梁と構面内の梁が同時に接合する場合の柱部材および柱梁接合部のせん断挙動を明らかにするものである。ここでは、特にピロティ階において直交梁が偏心接合する外柱を対象にせん断設計法の構築を目指している。

3. 研究の方法

研究は、直交梁と構面内の梁が同時に接合する外柱部材の構造的な性能を把握する実験を実施し、部材一般部から接合部にかけて連続する位置のせん断挙動を把握することとした。さらに、得られた実験資料を考察・検討して、内部抵抗機構を把握し、評価手法構築のための資料を得ることとした。

4. 研究成果

(1) 実験の概要

表1に実験の試験体一覧、図1に試験体形状・配筋図を示す。実験は、2シリーズに分けて実施し、第一シリーズ(No. 08-1~08-5)は、主としてピロティ階の外柱および柱梁接合部の基本的なせん断挙動を把握することを意図しており、第二シリーズ(No. 08-1~08-5)は、第一シリーズの結果を受けて、梁接合区間および柱頭部に配筋した柱せん断補強筋の補強効果、および、面内梁の主筋量がせん断挙動に与える影響を把握することを目的として計画した。

試験体の形状は、実大の約1/3~1/2程度の大きさで、主としてピロティ階の外柱を想定し、直交梁と同時に構面内の梁(加力方向の梁)が接合する設定である。試験区間の上下は剛強なスタブを設け、上部スタブは上層階の連層耐震壁を想定した。

第一シリーズ(08年度)の試験体の変動要因は、①直交梁の接合位置(建物内側、建物外側、または、段差梁形状)、および、②構面内梁主筋定着状況とし5体計画した。そして、第二シリーズ(09年度)では、第一シリーズより柱部材長さを長くして矩形柱区間のせん断補強筋量を少なくし、変動要因を①梁接合区間のせん断補強筋量、②構面内梁主筋量として3体計画し、総計8体を計画した。

試験体への加力は、地震時に生じる応力を想定して、建研式加力装置を用いて行った。

表1 試験体一覧

No.	柱		直交梁		面内梁					
	試験区間長さ h (h_0)	せん断補強筋 矩形柱区間 (p_w) 梁接合区間 (p_{pw})	断面 $B_{Bo} \times D_{Bo}$	偏心位置	主筋	下端筋定着方法				
08-1	900 (600)	2-D10 @40 SD295A (1.19%)	2-D6 @70 SD295A (0.30%)	150×300	内側	4-D13 SD345	曲げ上げ			
08-2				200×150 (逆梁)	外側					
08-3				150×300	内側			4-D13 SD345	曲げ下げ	
08-4										外側
08-5										
09-1	1100 (800)	4-D6 @55 SD295A (0.78%)	2-D6@70 +3×2-D6 SD295A (0.50%)	150×300	内側	2-D13 SD345	曲げ上げ			
09-2								2-D6@70 SD295A (0.30%)	4-D13 SD345	
09-3										

コンクリート強度 27.8~28.2 [N/mm²]
鉄筋降伏点強度
柱主筋・梁主筋: 366~380 [N/mm²]
柱せん断補強筋(D10): 364 [N/mm²]
柱せん断補強筋(D6): 317~327 [N/mm²]
梁せん断補強筋(D6): 327~344 [N/mm²]

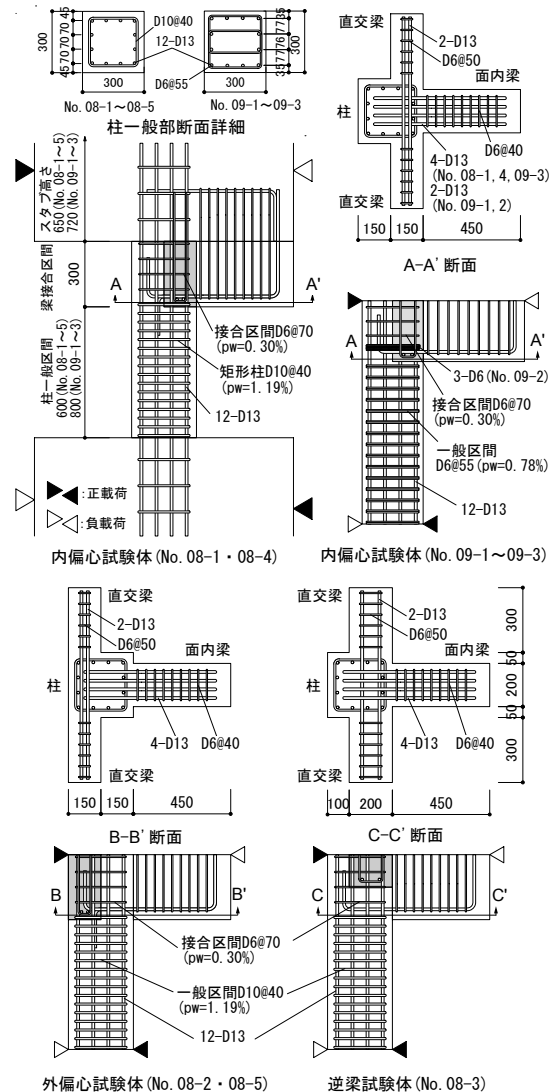


図1 試験体形状・配筋図

(2) 実験結果の概要

① 破壊状況

図 2 に試験体破壊状況図を示す。

内側に直交梁が偏心した試験体 (No. 08-1, 08-3, 08-4, 09-1~09-3) では、正載荷のせん断ひび割れは、直交梁の下側から上部スタブに向かって斜めに発生している。特に、逆梁の No. 2-3 および柱一般区間の長い No. 09-1~09-3 では、この部材一般部から梁接合区間に連続するひび割れが大きくなり、地震被害報告と同様なせん断破壊が観察されている。一方、負荷荷時では、せん断ひび割れは、柱脚から面内梁下端を結ぶ対角線状に発生し、柱一般区間をクリアスパンとする特性が見られた。

外側に直交梁が偏心した試験体 (No. 08-2, 08-5) では、正載荷時に曲げせん断ひび割れが梁接合区間で生じており、梁接合区間の損傷が認められる。しかし、負荷荷時では、せん断ひび割れが柱一般区間に対角線状で発生し、この区間をクリアスパンとする特性が支配的な傾向であった。

最終的な破壊モードは、No. 08-1 正載荷、No. 08-3, No. 09-1~No. 09-3 が柱部材曲げ降伏後の梁接合区間せん断破壊であり、その他が柱部材端部のコンクリート圧壊を伴う柱曲げ破壊であった。なお、最終的には、柱一般区間の短い 08-1~08-5 試験体では、柱一般部の損傷が著しく、柱部材のせん断破壊も認められた。

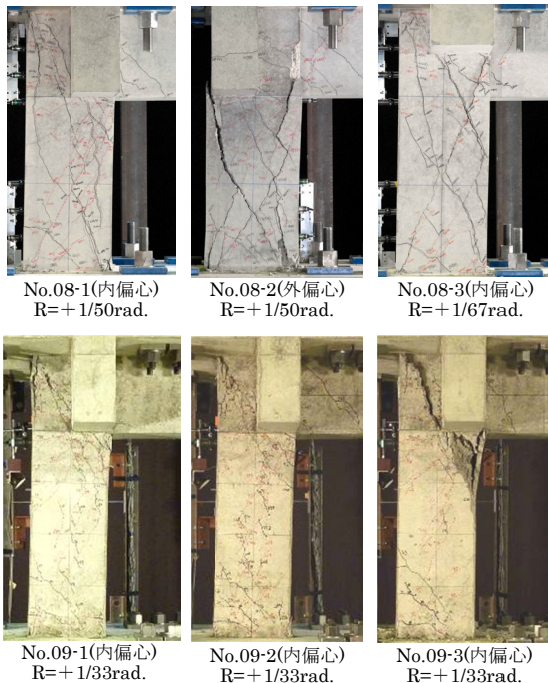


図 2 試験体破壊状況図

② 変形状

図 3 に柱せん断力-相対変位 (相関変形角) 関係を示す。

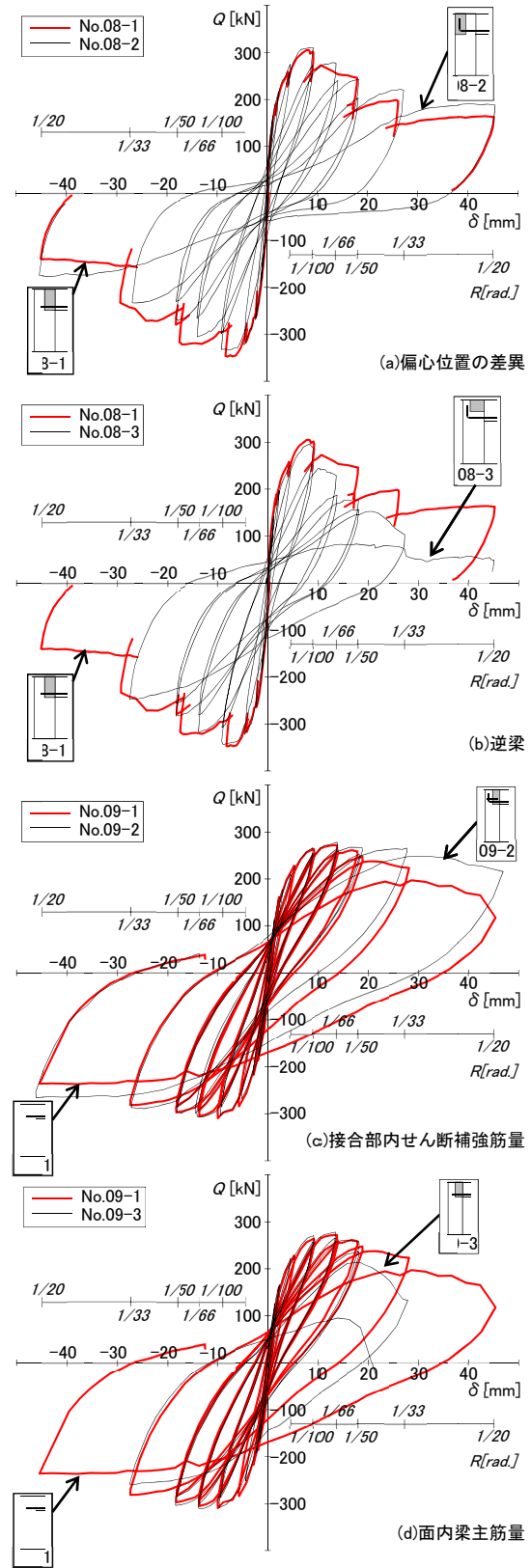


図 3 せん断力 Q —相対変位 δ 関係

全試験体ともに、層間変形角 $R=1/100\text{rad}$ ~ $1/66\text{rad}$ にかけて柱主筋の引張降伏により最大耐力に至り、その後緩やかに保持せん断力が低下している。

図(a)は、直交梁の偏心位置(内側・外側)を比較して示している。内側のNo. 08-1と外側のNo. 08-2は、同様な履歴特性を示しているが、梁接合区間のせん断破壊が生じた内側のNo. 08-1は、 $R=1/50rad.$ 以降の耐力低下が大きい性状であった。

図(b)は、一般的な梁と逆梁の比較を示している。逆梁のNo. 08-3は、 $1/100rad.$ 以降の正載荷において、梁接合区間の損傷が顕著となり、一般的な梁のNo. 08-1よりも急激な耐力低下が生じた。

図(c)は、接合部せん断補強筋量の差異を示しており、梁接合区間に集中補強筋を配筋したNo. 09-2は、No. 09-1よりも耐力低下が緩やかであり、せん断補強効果が認められる。

図(c)は、面内梁主筋量の差異を示しており、面内梁主筋量の多いNo. 09-3(4-D13)は、 $1/50rad.$ 程度より梁接合区間のせん断破壊により急激に耐力低下に至っており、主筋量の少ないNo. 09-1(2-D13)よりも変形能の小さい特性であった。

(3) 抵抗機構に関する考察・検討

図4は、柱モーメントの高さ方向分布であり、柱モーメントは、主筋歪み度から各断面の歪み度分布を仮定し、鉄筋とコンクリートの材料特性を考慮して算出した。

直交梁のみが引張側に接合する、既往研究のNo. 00-4の梁接合区間は、全域でモーメント勾配が一般部と同様であり、この区間の柱負担せん断力は一般部と同程度といえる。さらに面内梁が接合(No. 08-1)、また、直交梁が外側(圧縮側)に偏心(No. 08-2)することで、一般部と同様なせん断力を負担する区間が短くなり、梁接合区間全体でモーメント勾配が緩やかになっている。

これら柱モーメント分布の変化は、面内梁コンクリートの圧縮力、面内梁主筋の引張力、および、直交梁のせん断力(モーメント)負担により、柱に逆せん断力を与えることで生じたと考えられる。したがって、梁接合区間の柱負担せん断力は、直交梁および面内梁の接合位置、すなわち、柱に与える逆せん断力の大小により変化し、これにより柱のクリアスパンも変化するといえる。

図5にせん断補強筋の歪み度分布を示す。

図(b)は、梁接合位置を変動要因とした図である。歪み度の大きい区間は、00-No. 4, No. 08-1, No. 08-2と耐力低下の急激なほど、梁接合区間の上側(奥側)に広がり、面内梁が接合するNo. 08-1, No. 08-2は、梁下端近傍の歪み度が最も大きい傾向である。せん断補強筋の歪み度の大きい区間は、上記の梁接合区間内において、柱負担せん断力が一般部と同様となった区間と対応し、この区間のせん断抵抗が限界に達して、柱頭から接合部へ連続するせん断破壊が生じたと推測される。

図(d)は、補強筋量の差異を示している。

面内梁の主筋定着部近傍にせん断補強筋を集中配筋したNo. 09-2は、No. 09-1, No. 09-2よりも歪み度が小さく、良好な補強効果を得られている。面内梁主筋量の多いNo. 09-3は、少ないNo. 09-1よりも面内梁主筋の定着部近傍および柱頭の歪み度が、大きい傾向である。したがって、面内梁主筋の引張力が増大するにつれて、この近傍のせん断補強筋の負担も増加し、これによりせん断破壊が誘発されたと推測される。また、柱一般部のせん断補強筋量が多いNo. 08-1~08-5では、No. 09-1~09-3よりも梁接合区間のせん断ひび割れの口開きが抑えられていることから、柱頭位置にせん断補強筋を配することも効果的と考えられる。

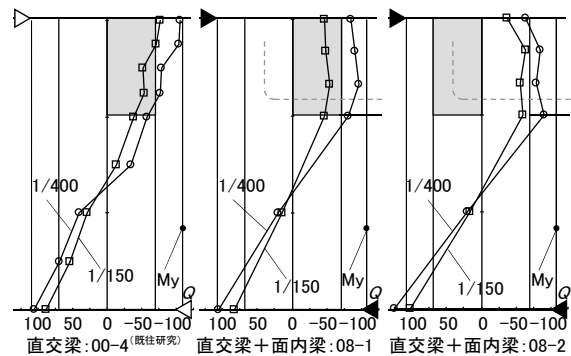


図4 柱モーメント分布(単位: $kN \cdot m$)

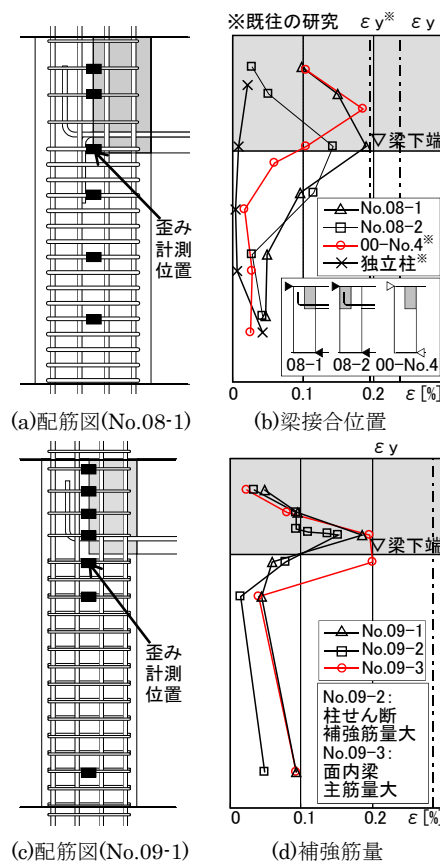


図5 柱せん断補強筋歪分布

以上より、せん断設計では、梁接合区間内で柱の負担せん断力が一般部と同様となる区間を明確化し、その区間をせん断補強することが重要といえる。特に、柱の負担せん断力が大きく変化する面内梁の主筋定着部、および、柱頭にせん断補強筋を配することは効果的といえる。

(4) 成果のまとめ

主としてピロティ階の外柱を想定した直交梁と同時に構面内の梁が接合する柱部材の構造性能について、既往の研究より一連の実験資料を取得することができ、柱部材一般部から梁接合区間に連続する部位のせん断挙動とせん断補強手法について把握することができた。また、実験資料を考察・検討し、評価手法構築のための基礎資料を得た。

具体的には、以下の知見を得た。

- ①直交梁および面内梁の接合位置により、梁が負担するせん断力(柱に与える逆せん断力)が変化する。これにより、梁接合区間内の柱負担せん断力が変化し、柱の見かけのクリアスパンも変化する。
- ②部材一般部から接合部に連続するせん断破壊は、直交梁が建物内側に偏心し、面内梁に引張力が生じる方向にせん断力を受ける場合に生じ易い。
- ③せん断設計では、梁接合区間内で柱負担せん断力が一般部と同様となる区間を明確化し、その区間にせん断補強を行うこと、また、柱負担せん断力が大きく変化する位置(面内梁主筋定着部近傍)に対し、せん断補強を行うことが必要である。
- ④上記の補強は、面内梁の主筋定着部近傍および柱頭にせん断補強筋を配することが効果的である。

なお、今後は、せん断抵抗機構に関して、更なる検証・検討を実施して耐力評価手法を確立し、最終的な設計手法の構築を目指す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① 杉山智昭, 中野克彦, 松崎育弘: 直交梁が偏心して付帯する RC 造外柱の構造性能に関する研究 —その3 補強筋量の影響・効果—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 2011. 8
- ② 杉山智昭, 中野克彦, 松崎育弘: 直交梁が偏心して付帯した RC 造外柱の構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 2011. 7
- ③ 山内成人, 杉山智昭, 松崎育弘: 直交梁が偏心して付帯する RC 造外柱の構造性能に関する研究 —その1 実験概要および破壊・変形性状—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2pp. 251-252, 2009. 8
- ④ 杉山智昭, 松崎育弘: 直交梁が偏心して

付帯する RC 造外柱の構造性能に関する研究 —その2 実験結果の検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2pp. 253-254, 2009. 8

[学会発表] (計3件)

- ① 杉山智昭: 直交梁が偏心して付帯する RC 造外柱の構造性能に関する研究—その3—, 日本建築学会大会, 2011年8月25日, 早稲田大学早稲田キャンパス
- ② 杉山智昭: 直交梁が偏心して付帯する RC 造外柱の構造性能に関する研究, 第33回コンクリート工学講演会, 2011年7月13日, 大阪国際会議場
- ③ 杉山智昭: 直交梁が偏心して付帯する RC 造外柱の構造性能に関する研究, 日本建築学会大会, 2009年8月28日, 東北学院大学泉キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉山 智昭 (SUGIYAMA TOMOAKI)
大成建設株式会社 技術センター 建築技術研究所 建築構工法研究室・研究員
研究者番号: 50372991

(2) 連携研究者

松崎 育弘 (MATSUZAKI YASUHIRO)
東京理科大学・工学部建築学科・名誉教授
研究者番号: 30138979
中野 克彦 (NAKANO KATSUHIKO)
新潟工科大学・工学部建築学科・教授
研究者番号: 80188995