論文 十字形内柱・梁接合部の補強方法に関する実験的研究

鈴木 武文*1・石橋 一彦*2・堀部 明久*3・井口 良平*4

要旨:地震力を受けるRC架構の柱・梁接合部の変形は,せん断変形のみが卓越するもの ではなく,回転変形が含まれる。梁曲げ降伏後の接合部の変形を抑制するために,新しい 配筋方法として,柱と梁の主筋交差位置を斜めに補強する提案がなされた。加力実験の結 果,接合部に円形の溶接閉鎖形補強筋を垂直に配筋することによって,塑性域での繰り返 し荷重を受ける過程で増大する接合部のせん断変形と回転変形を抑制することができた。 円形補強筋は,パネルコーナー引張力に対する抵抗だけではなく,パネルコンクリートの 拘束効果も大きい。

キーワード:柱・梁接合部,せん断変形,パネル回転,円形補強筋

1. 目的

従来,柱・梁接合部の変形はせん断変形のみ が卓越するものと考えられてきた。しかし,接 合部の変形にはせん断変形のみではなく,正負 繰り返し荷重を受けてパネル領域にX形のせん 断ひび割れが生じると,ひび割れで分割された 4つの三角形が剛体として回転するという破壊 機構が論じられている¹⁾。図 - 1に示すように, このような剛体回転機構では,梁付け根のヒン ジ領域(a)ではなく,接合部パネル領域に回 転が生じる(b)。また,対角線圧縮ストラット に沿ったひび割れが開く(a)だけではなく, 閉じる側のひび割れのパネルコーナー部分にも 開きが生じる(b)。これを抑制するためには



(a)梁付け根の回転

云 (b)接合部の回転

図 - 1 接合部の破壊機構

*1	千葉工業大学	大学院 工学研究科	斗建築学専 攻	(正会員)
*2	千葉工業大学教	收授 工学部建築学	幹科 博(工)	(正会員)
*3	千葉工業大学	工学部建築学科	(正会員)	
*4	千葉工業大学	工学部建築学科	(正会員)	

パネルコーナー部分を斜めに補強することが有 効と考えられた。

既報の実験結果²⁾によると柱・梁接合部のパ ネルコーナー部分を斜めに補強することで,梁 曲げ降伏後の接合部の変形を抑制することがで きたと報告されている。それによると,図-2 に示すような,溶接閉鎖形の斜補強筋を用いて 柱と梁の主筋の交差する位置に斜め補強を施し た十字形試験体 JCR は,大変形時にも接合部に 大きな損傷が生じることはなく,有効な補強効 果が得られた。また,斜補強筋を溶接閉鎖型と

せずに,折曲げた余長を部 材の中心軸に定着させて開 放型とした試験体では,補 強の効果が低減したことか らコンクリート拘束力が補 強効果に影響すると考えら れた。



本報では,斜補強筋を梁せい内の小領域内に 収めるために,溶接閉鎖型の円形補強筋(以下 リング筋と呼ぶ)を用いて,せん断補強とコン クリート膨張拘束効果を期待した。

2. 試験体

梁曲げ降伏先行型として設計した接合部配筋 の異なる十字形試験体8体を作成し,正負交番 の漸増繰り返し加力実験を行った。表 - 1に示 す試験体諸元および材料試験結果に基づき,文 献3)のせん断強度式で求めたV_{ju}を梁曲げ降 伏時の接合部水平せん断応力V_uで除した接合 部せん断余裕度を表 - 2に示す。コンクリート 強度が予定した 24N/mm²を大きく下まわったた めに余裕度が1.0以下の試験体もある。

図 - 3,図 - 4に配筋を示す。AIJ2は帯筋の みで接合部を補強した試験体である。AIJNは接 合部無補強で主筋のみの配筋とした。JCRR0~4 はほぼ主筋交差位置を通るリング筋を梁せい内 に収まるように配筋した。JCRR0 はリング筋の みによる補強とし,JCRR1,3は帯筋も配筋した。 JCRR2,4は加力方向と直交する方向にもリング

表 - 1 試験体諸元

AIJ2

4-D10

(SD295A

0.52%

AIJN

試験体

接合部帯筋

帯筋比

リング筋

梁,柱(共通因子)							
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·							
梁主筋	5-D16(SD345)						
引張鉄筋比	0.98%						
あばら筋	D10@100(SD295A)						
あばら筋比	0.48%						
柱							
壮士族	8-D19(SD345)						
杜土肋	12-D19(SD345)※JCRR5のみ						
引張鉄筋比	0.92%						
帯筋	D10@100(SD295A)						
帯筋比	0.98%						
	接合部(実験変数)						

JCRR0

4-D13

(SD295A

筋を配し,これに帯筋に代わって接合部の厚み 方向の拘束効果を期待した。JCRR3,4はJCRR0 ~2よりもリング筋の鉄筋径を太くして補強量 を1.55倍に増やした。JCRR5は高張力のスパイ ラル状リング筋を柱主筋内に収まるように配筋 し,接合部帯筋と柱の中間筋も配した。

3. 実験方法

JCRR4

4-D16(SD345)

(2方向)

JCRR3

4-D10

(SD295A

0.52%

4-D16

(SD345)

図 - 5 に示すように、梁両端をローラー支持, 柱下端をピン支持として柱に一定軸力を加え, 柱上端に取り付けた水平ジャッキで正負交番荷 重を与えた。柱軸力は3.9MPa とし,テンション ロッドを介して反力を柱上下の鉄骨梁に受けて 加えた。水平力Qは柱と梁の相対部材角Rで制 御した。

図 - 6 に変位計の取り付け位置を示す。表面 (a)において部材角Rは,接合部パネル領域 の上下の辺の中央を支点として静定で取り付け たゲージホルダーIから柱と梁の支点位置の変 位を測定した。またパネル領域の左右の辺の中 央を支点として静定で取り付けたゲージホルダ ーIIからゲージホルダーIとの相対変形角を 測定してパネルせん断変形 _sとした。さらに, AIJ2,JCRR5 の2体の試験体の裏面(b)にお いて,パネル底辺を基準とした他の3辺の傾き

JCRR5

2-D13(SD295A)

0.46%

7-9¢

 $\sigma v = 1275 \text{N/mm}^{4}$

Ċ	/则	叱	υ	IC	0	Ħ
辺	2	つ	の	変	位	計
Ø	測	定	値	の	差	を
測	定	間	距	離	で	除
し	τ	相	対	的	な	傾
き	を	求	め	,	左	右
の	辺	の	傾	き	を	平
均	し	τ	算	出	さ	n
る	値	を	パ	ネ	ル	変
形		と	し	た	0	上
下	Ø	辺	の	傾	き	は
そ	Ø	値	が	+	分	小
さ	11	こ	と	を	確	認
す	3	た	め	こ汎	則に	Ē

そ2回ウレキ。

5

	鉄筋降伏点	(Ν	/	mm ²)
--	-------	---	---	---	-----------------	---

JCRR2

4-D13(SD295A)

(2方向)

JCRR1

4-D10

(SD295A)

0.52%

4-D13

(SD295A)

試験体	AIJ2	AIJN	JCRR0	JCRR1	JC	RR2	JCRR3	JCRR4	JCRR5	
梁主筋	404	396			387		404	404	404	
柱主筋	364	38	34		384		364	364	375	
せん断補強筋	398	3	50		381		398	398	398	
リング筋	368	35	55		370	368		368	1451	
コンクリート強度										
試験体		AIJ2	AIJN	JCRR0 JCRR1 JC		1 JCF	RR2 JCR	R3 JCRR	4 JCRR5	
圧縮強度(N	23.0	29.6	30.6	26.4	24	.9 21.4	4 18.4	25.4		
割裂強度(N	1.99	2.48	2.40	2.10	2.1	0 2.20	6 1.64	2.05		
ヤング係数(10 ⁴)	2.4	2.8	2.6	2.3	2.	4 2.3	1.8	2.4		
表 - 2 接合部せん断余裕度										
試験体	AIJ2	AIJN	I JCRF	RO JCRI	71 JC	CRR2	JCRR3	JCRR4	JCRR5	
せん断余裕度	1.07	1.23	1.33	3 1.2	3 1	1.18	1.01	0.91	1.12	



した。

パネル領域内に回転変形が生じる場合,パネ ル変形 には,上記のパネルせん断変形 sと, パネル回転変形 _Rを含んでいる。従って,式 (1)により _Rを算出できる。

$$_{R} = - _{S} \tag{1}$$

図 - 6(a)の変位計D7~D10は図 - 7(a) に示した 0点と称される位置のコンクリート 表面に取り付けられている。(uは柱せい, v は梁せいにとった。)

せん断変形時,回転変形時には。点は,そ れぞれ図 - 7 (a), (b) に示されるように変 位し, せん断変形成分はこの領域の柱と梁の相 対部材角には含まれない。すなわち 。点の相

対部材角は回転変形と柱と梁のたわみの成分 のみとなるので,(1)式より Rを特定すれば 柱と梁のたわみ成分を分離して抽出すること ができる。

4. 実験結果

4.1 Q-R関係

加力実験によって得られたQ - R 関係を図 - 8 に示す。各試験体とも梁主筋が降伏するま では大きな剛性低下は起きていない。AIJ2 は梁 曲げ降伏後の繰り返し漸増加力によって接合 部の破壊が進行し,耐力が低下した。接合部無 補強の AIJN はR = 0.02 以上の繰り返し加力で 大きな耐力低下が始まり,早期に接合部がせん

断破壊して,最終的には60%以下まで低 下した。JCRRO はリング筋を配する事によ ってR=0.04 までは耐力低下を抑止でき たが、その後、脆性的な著しい耐力の低 下が生じたために加力を終了した。JCRR1 ~5の履歴特性は AIJ2 に比べて, 良い靱 性能を示している。リング筋と帯筋を配 した JCRR1,2方向リング筋を配筋した JCRR2 はR = 0.04 の振幅の繰り返しでの 荷重低下率はほぼ等しい。しかし,最終 加力ではそれぞれ 65%, 80%まで耐力が 低下した。JCRR3,4および5はリング筋 の補強量を増やしたことで0.04以上の大 変形部材角でも十分な耐力と変形性能を 保持しており、最終加力においても耐力 の80%以上を維持した。

4.2 变形成分比

部材角 R を梁(R_b), 柱(R_c), パネ ルせん断変形(R_{Ps}), さらに 。点での 測定を行った AIJ2, JCRR5 の2体につい てはパネル回転変形(R_{PR})の変形成分 に分離し,全体変形に対する各変形の割 合を求めた。

繰り返し漸増加力によって進行する部 材角Rに対する各変形成分比の正荷重時 における推移を図 - 9に示す。JCRR3, JCRR4 は大変形時にもR_{PS}の割合はそれ ぞれ12.3%,15.4%と少ない割合に収ま っており,1サイクルからの増加率も1.5 倍程度と少なく,十分な補強効果が得ら れたといえる。他の試験体は部材角Rの 進行に伴ってR_{PS}が増加する傾向にあり, JCRR1,JCRR2 もコーナー補強量が不足し ていたために,それぞれ22.9%,31.2% まで増加している。

4.3 パネル回転変形

。点で測定した相対部材角に対する パネル回転,柱,梁部材の変形の割合を 図 - 10 に示す。パネル回転変形の変形成



分はR=0.02 で減少し,その後,同一振 幅で増加し,Rが増加すると再び減少す る傾向がある。R=0.02 でのパネル回転 の増加は JCRR5 の方が少ない。

両試験体ともR=0.01 で梁主筋が降伏 に到り,R=0.01 以降塑性変形が進行し た。これより一旦はパネル回転が減少す るがヒンジ回転は塑性化の進行に伴って 増加するが,その後の繰り返しによるパ ネルコンクリートの劣化は図-1(b) のような変形を含みつつ進行すると考え られる。

4.4 接合部せん断力比 - せん断変形角関係

各試験体の文献3)によるせん断強度 式V_{ju}に対する接合部水平せん断力V_j の比,V_j/V_{ju}とせん断変形角 _sの関 係を図-11に示す。

接合部の変形は梁降伏後に大きく進行 し、コンクリートの劣化に伴ってその靱 性能が激しく低下している。AIJ2の接合 部せん断変形は梁降伏後に大きくなり、 パネルコンクリートの破壊の進行に伴っ て著しくせん断剛性が低下している。 AIJN はパネルコンクリートの破壊に伴っ て AIJ2 よりも大きく変形が進行し、最終 的にはほとんどせん断剛性を持たなくなった。JCRR0の梁降伏以降の履歴特性は、

エネルギー消費が少ない逆S字形のループを 示しており,最終サイクルでは大きく変形が進 行した。JCRR1 はリング筋の拘束効果によって, 変形の進行を抑制することができ,履歴は比較 的靱性のある紡錘形を維持しているが,最終サ イクルでは大きく変形が進行した。2方向のリ ング筋を配筋した JCRR2 は,AIJ2 よりは梁降伏 以後の変形を抑制できたものの,JCRR1 ほどで はなかった。リング筋の補強量を多くした JCRR3,JCRR4 はその効果が明確に現れており, JCRR3 は最終変形まで s = 0.01以下に変形を



図 - 1 1 接合部せん断力比 - せん断変形角関係

抑制することができた。JCRR5 はリング筋を小 さくしたために JCRR3, JCRR4 程の効果は得ら れなかった。

4.5 接合部補強筋のQ - 関係

各試験体のリング筋,帯筋,直交リング筋の 水平力Qと歪度の関係を図-12に示す。

同図(a)より,リング筋の歪みは荷重の正 負で対称の引張となっている。また,鉄筋降伏 以前から残留歪みが残り漸増傾向にあること から,パネルコーナー引張力に対する抵抗はも とより,パネルコンクリートの水平膨張拘束効 果も大きいといえる。

リング筋の梁降伏後の歪みはコーナー 位置で大きくなる傾向にある。帯筋がな いために R = 0.04 でリング筋が降伏した JCRR0, JCRR1 に対して, JCRR3 はリング 筋を増やしたために R = 0.04 加力時には 補強筋は降伏していない。

同図(b)より, AIJ2, JCRR1の帯筋は
 R = 0.04 加力時に降伏したが, JCRR3 は
 最後まで弾性範囲に留まっている。

同図(c)に示す JCRR4 の直交リング 筋の歪みは,測定値がR=0.04 のサイク ルの途中で乱れている。しかし,JCRR2 はと同様にR=0.04 の加力サイクルまで は弾性で,最終サイクルで降伏歪みに到 ったと思われる。

5. まとめ

リング筋を配筋することによって,塑 性域での繰り返し荷重を受ける過程で増 大する接合部のせん断変形と回転変形を 抑制することができた。

リング筋はパネルコーナー引張力に対 する抵抗はもとより,パネルコンクリー トの膨張拘束効果も大きい。

リング筋と帯筋を十分に配した JCRR3 は,大変形時にも接合部の変形と劣化を 抑制する十分な補強効果が得られた。

直交リング筋は帯筋ほどではないが, R=0.04 までの変形に対して補強効果が あった。

参考文献

- 1)楠原文雄,塩原等:接合部破壊が先行 するRC柱はり接合部の接合部せん 断力と接合部破壊の因果関係,コンクリー ト工学年次論文報告集,Vol.19,No2,pp1005 -1010,1997
- 2) 立石眞男,太田康弘,石橋一彦:RC柱・ 梁接合部の補強方法とその定量化に関す



図12 接合部補強筋のQ 関係

る実験的研究(その2形状比較と定量化) 建築学会大会学術講演梗概集,C-2, pp.961 -962, 1999

 3)日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の 靱性保証形耐震設計指針・同解説,1999