

# 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

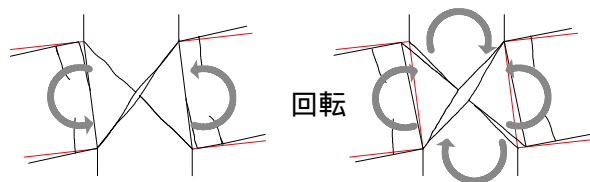
鈴木 武文<sup>\*1</sup>・石橋 一彦<sup>\*2</sup>・堀部 明久<sup>\*3</sup>・井口 良平<sup>\*4</sup>

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<sup>1)</sup>。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 (b)接合部の回転

図-1 接合部の破壊機構

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<sup>2)</sup>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，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

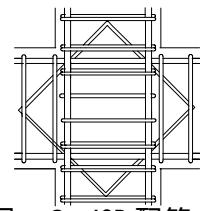


図-2 JCR 配筋

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。

\*1 千葉工業大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

\*2 千葉工業大学教授 工学部建築学科 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)





断破壊して、最終的には 60% 以下まで低下した。JCRR0 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 変形成分比

部材角  $R$  を梁 ( $R_b$ ), 柱 ( $R_c$ ), パネルせん断変形 ( $R_{PS}$ ), さらに 0 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

0 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

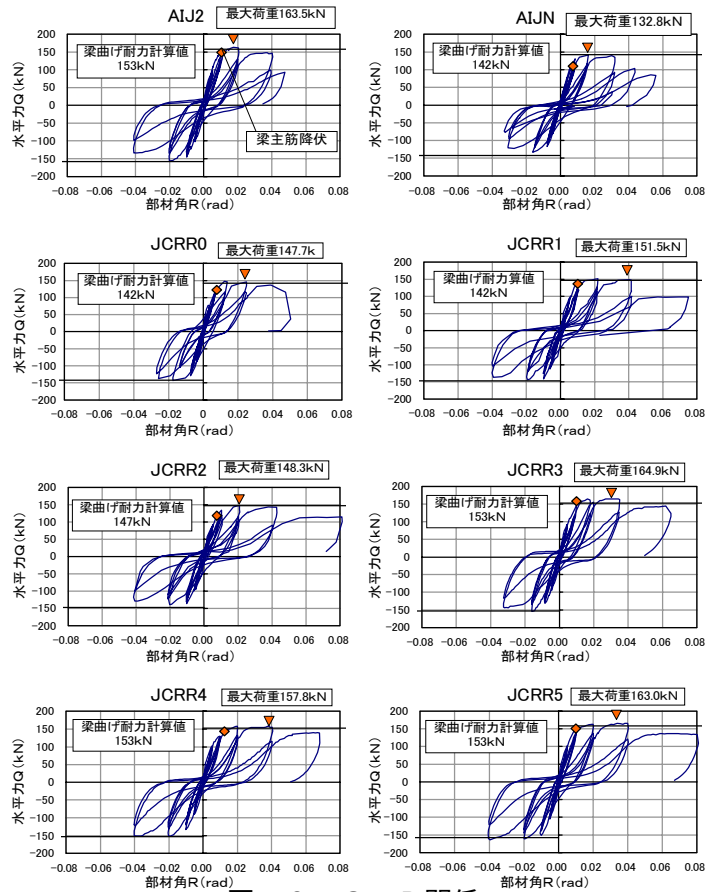


図 - 8 Q - R 関係

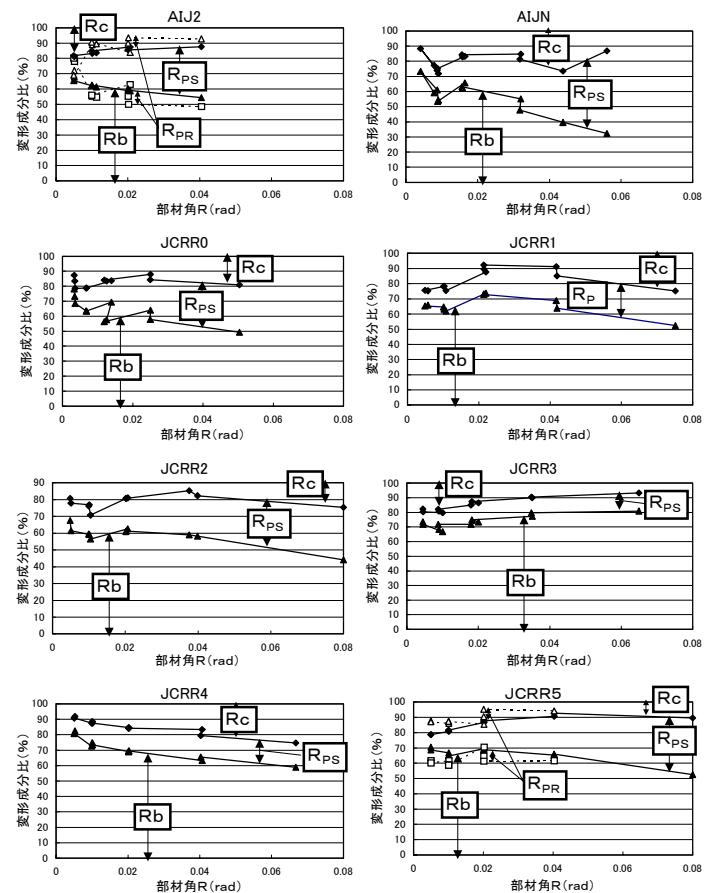


図 - 9 変形成分比

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 JCR5 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  $\gamma_s$  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。JCR0 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。JCR1 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 JCR2 は、AIJ2 よりは梁降伏以後の変形を抑制できたものの、JCR1 ほどではなかった。リング筋の補強量を多くした JCR3、JCR4 はその効果が明確に現れており、JCR3 は最終変形まで  $\gamma_s = 0.01$  以下に変形を

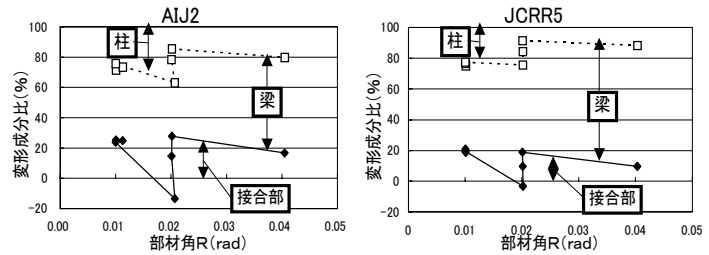


図 - 10

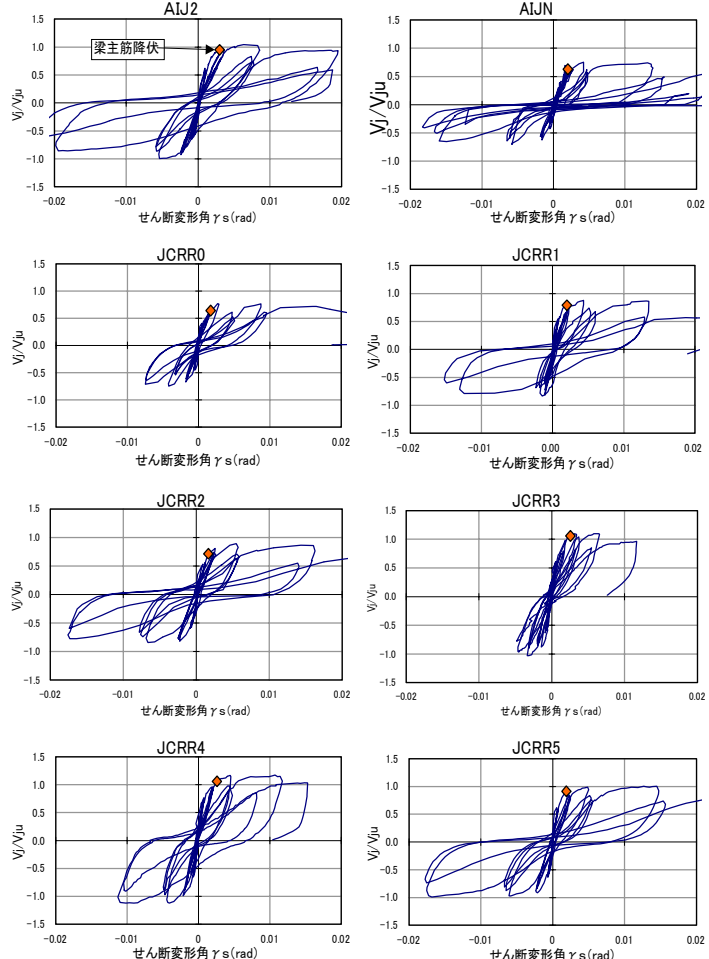


図 - 11 接合部せん断力比 - せん断変形角関係

抑制することができた。JCR5 はリング筋を小さくしたために JCR3、JCR4 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  $\epsilon$  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る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, No.2, 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る

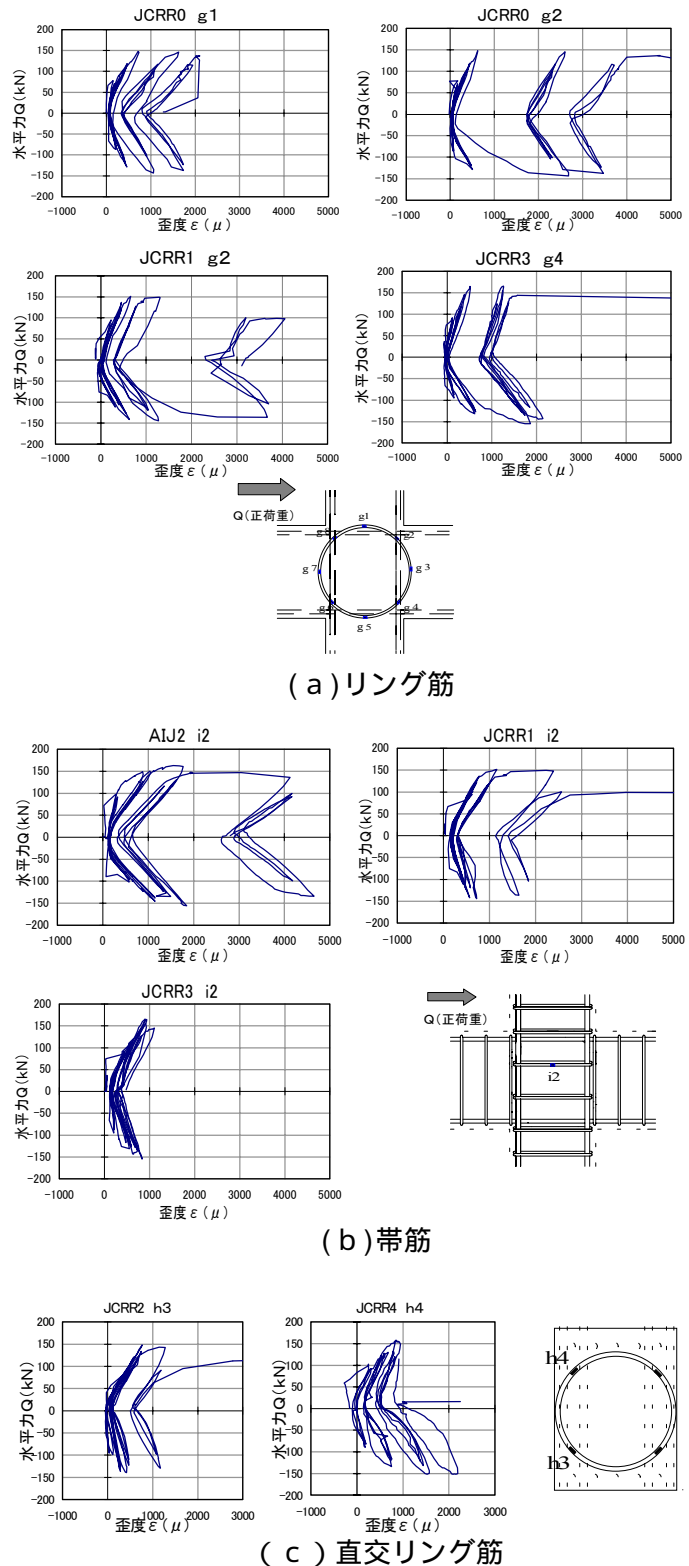


図 12 接合部補強筋の Q-ε 関係

- 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