

高強度梁主筋を接合部内機械式継手とした十字型接合部の構造性能に関する実験

リハビリテーション工学研究室 佐川 隆之

1. はじめに

近年、大規模集合住宅の高層化、大スパン化、高耐久化、プレキャスト化を目的として高強度鉄筋、高強度コンクリートを用いた十字型接合部内で機械式継手する例が増えている。本研究では、梁主筋SD590、コンクリートFc60クラスを用いた十字型接合部の架構実験を行い、現行設計法を直接拡張する形で柱十字型接合部の剛性・耐力の評価が可能かどうか、また、プレキャスト化に伴う接合部内の機械式継手(写真1)の有無により構造性能に影響が出るか検証を行った。

2. 実験計画

2.1 実験の概要

本研究で想定する建物は、地上40階、高さ140m程度の鉄筋コンクリート構造純ラーメン架構とし、梁主筋SD590、コンクリートFc60クラスが用いられる10～15階部分のスパン8m、階高4mの十字型接合部を対象(図1)とした。試験体1/2.5モデルとしスパン3.2m、階高1.6mで柱断面400×400、梁断面300×400とした。

2.2 試験体の設計

試験体は3体とし、梁曲げ降伏先行型として設計した梁主筋5-D19の通し配筋試験体(No.1)、梁主筋5-D19を接合部内で機械式継手とした試験体(No.2)、No.2の梁主筋に太径鉄筋3-D25を使用し付着余裕度を低く設定し、接合部内で機械式継手を用いた試験体(No.3)とした。試験体配筋を図2に示す。ただし設計¹⁾では規格強度を用いた。

2.3 加力計画

加力装置図を図5に示す。試験体の柱端部、梁端部にピンを設置して加力フレームに組み込んだ。上部2本のジャッキで柱に一定軸力(1440kN:軸力比 $\eta=0.15$)を与え、水平ジャッキにより柱の鉛直を保持した。試験体の梁端に設置した鉛直ジャッキにより左右の梁にせん断力を静的に正負交番繰り返し载荷を行い、地震時の架構の応力状態を再現した。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

各試験体ともに $R=1/800\text{rad}$ のサイクルで梁曲げひび割れ、 $R=1/200\text{rad}$ で柱曲げひび割れ、 $R=1/133\text{rad}$ で接合部せん断ひび割れがそれぞれ発生した。

実務設計で重要な範囲は $R=1/50\text{rad}$ 程度であることから、まず $R=1/50\text{rad}$ 以下の挙動を比較した。 $R=1/50\text{rad}$ までは各試験体ともに最大ひび割れ幅の違いはほとんどなかった(図6)。また、接合部の各変形角の最大ひび割れ幅もほぼ同様であった。 $R=1/33\text{rad}$ 以降の大変形では試験体により差が生じた。No.1は主に梁端でのコンクリートの曲げ圧壊が目立った。No.2ではNo.1と同様の梁端の曲げ圧壊に加え、接合部のせん断ひび割れが大きくなった。これは接合部内に機械式継手を設けたことにより継手端部で支圧応力が発生したためと考えられる。

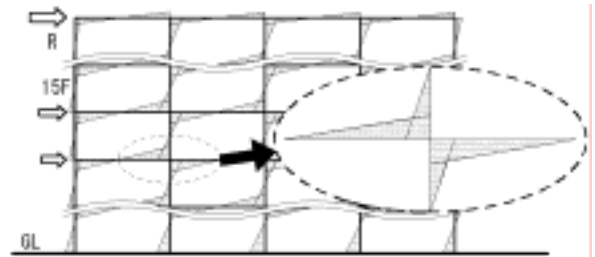


図1 想定部位の応力状態

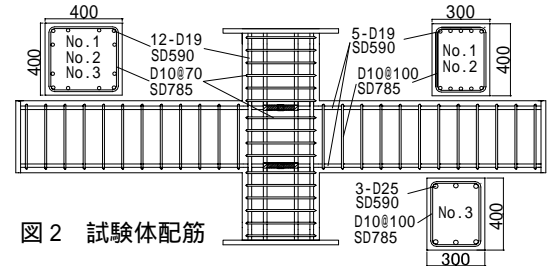


図2 試験体配筋

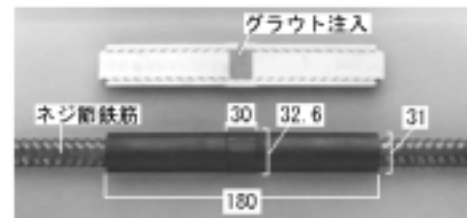
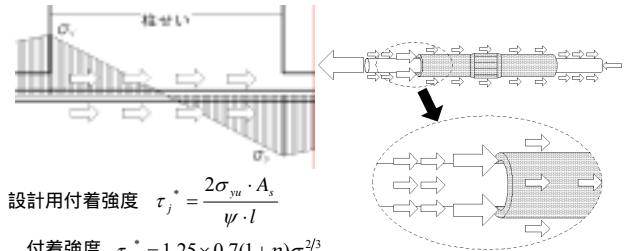


写真1 機械式継手



$$\text{設計用付着強度 } \tau_j^* = \frac{2\sigma_{yt} \cdot A_s}{\psi \cdot l}$$

$$\text{付着強度 } \tau_u^* = 1.25 \times 0.7(1+\eta)\sigma_B^{2/3}$$

図3 接合部内梁主筋の付着

図4 継手端の支圧

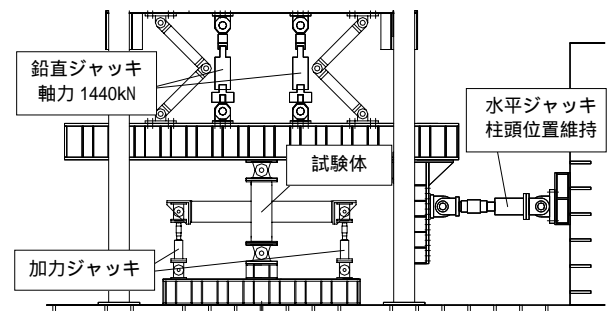


図5 加力装置

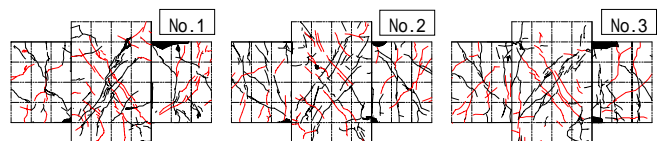


図6 ひび割れ状況($R=1/50\text{rad}$.)



写真2 ひび割れ状況($R=1/25\text{rad}$.)

また、接合部中央でのかぶりコンクリートの剥落もあった。No.3 では継手端部の支圧により発生したひび割れが徐々に縦方向に拡大し最終的には柱主筋に沿ってかぶりコンクリートが割れ裂かれた。継手端の影響は梁端にも及び、梁端の破壊部分からは接合部内の継手が視認された。

3.2 荷重-変形関係包絡線及び、等価粘性減衰定数 h_{eq} の比較

図8の包絡線でNo.1とNo.2の層せん断力-層間変形角関係を比較すると、 $R=1/50rad$ までは違いがなく、初期剛性も同等であった。 $R=1/33rad$ 以降の大変形ではNo.2の方が耐力低下が少なかった。No.3のみ最大耐力の計算値には届かなかったが、耐力低下は少なかった。

等価粘性減衰定数 h_{eq} を図9に示す。各試験体とも、スリップ型なので、それほどエネルギー吸収性能は高くない。各試験体を比較してみると小変形から大変形を通してエネルギー吸収性能にほぼ違いはなく、接合部内に機械式継手を用いても、通し配筋の場合と同程度のエネルギー吸収性能を持つと考えられる。

3.3 試験体の部位の変形割合

No.1とNo.2の各変形角における部位変形割合を図10に示す。梁主筋降伏が始まった $R=1/66rad$ 以降、ともに梁の変形割合が緩やかに上昇しており、梁曲げ破壊が進行したと考えられる。No.1とNo.2は同様の変形割合を示し、同じ梁曲げ降伏型の破壊形式となったことが分かる。

3.4 接合部内主筋付着性状の検討

図11に各試験体の接合部付近の梁上端筋の各平均付着応力度を示す。付着応力度は式(1)の通り、各歪ゲージ区間の応力の差と梁主筋表面積から算出した。ただし、継手部表面積には梁主筋表面積を用い、継手部応力には引張試験結果を用いた。各試験体ともに層間変形が進むにつれて接合部内梁主筋の付着劣化が徐々に進行し、付着応力度の最大点が梁端の危険断面から接合部内へ移動していることが分かる。

$R=1/400rad$ 時では、各試験体とも大きな差は見られなかった。 $R=1/200rad$ 時から試験体ごとの差が始め、No.3の右梁圧縮側梁端での付着応力度が他の2体に比べ大きくなった。これはNo.3の接合部内の付着劣化がより早く進行したためと考えられる。No.1とNo.2では、ほぼ同じ付着応力度を示し、同程度の付着劣化状況だったことが分かる。梁上端筋が降伏し始めた $R=1/66rad$ 時にはその傾向がより顕著に表れ、No.3では接合部内の付着劣化が進行し接合部内の付着だけでは定着が不足し、右梁圧縮側の梁主筋でも大きな付着力を負担していたと考えられる。

4. まとめ

本研究によって得られた結論を以下に示す。

- 1) 層間変形角 $1/50rad$ までの変形において、十字型接合部内の梁主筋に機械式継手を用いたNo.2の場合にも通し配筋のNo.1とほぼ同じ層せん断力-層間変形角関係を示した。また、等価粘性減衰定数、梁主

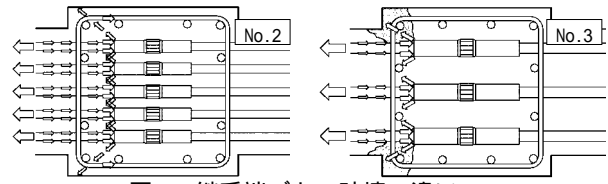


図7 継手端ごとの破壊の違い

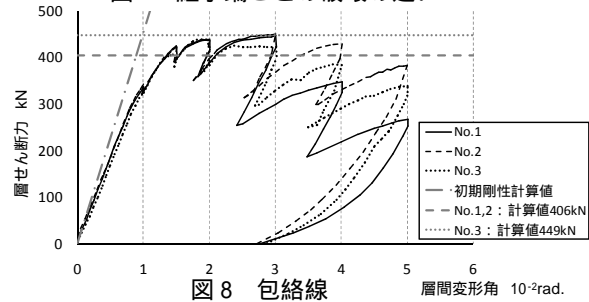


図8 包絡線

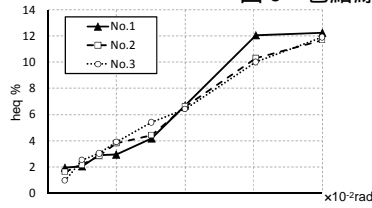


図9 等価粘性減衰定数

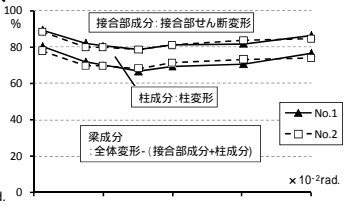


図10 部位変形割合

平均付着応力度式(1)

$$\tau = \frac{(T_1 - T_2)}{\psi \cdot l} \quad (N/mm^2)$$

T: 応力(N) ψ : 主筋周長(mm)

l: ゲージ距離(mm)

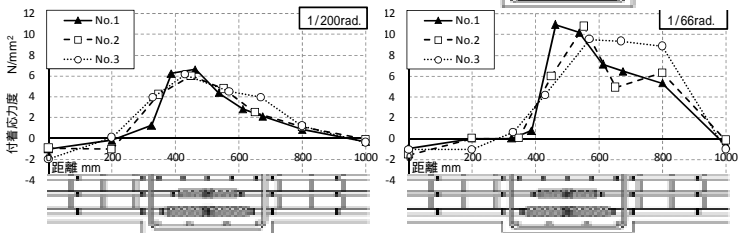


図11 接合部内の付着応力度

筋の接合部内の付着においても、同等の性能を示した。 $R=1/33rad$ 以降ではNo.2の方が耐力低下が小さく、本実験の範囲では大変形時においてNo.1よりも機械式継手を設けたNo.2の方が良い性能を示した。

- 2) No.1,2ともに曲げ終局耐力、初期剛性を既往の設計式で評価することができた。よって、梁主筋SD590、コンクリートFc60クラスの高強度材料を用いても、現行の設計法を使用できたといえる。
- 3) 付着破壊先行型に計画し機械式継手を用いたNo.3は、層間変形角 $1/50rad$ での最大耐力が終局耐力の計算値に届かなかった。 $R=1/33rad$ 以降も継手端での大きなひび割れや柱のかぶりコンクリートの剥落などの他の2体と異なる損傷が目立った。梁主筋の付着力が不足していたことに加え、接合部寸法に対し過大な継手寸法であったことがこれらの破壊性状、耐力不足の要因であると考えられる。

参考文献 1): 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 2001.9