

梁主筋附着性能を向上させた RC 造 内柱・梁接合部のせん断性状に関する 3 次元 FEM 解析

正会員 ○森田真司^{*1}
同 北山和宏^{*2}

鉄筋コンクリート 柱・梁接合部 主筋附着
有限要素解析 接合部せん断力

1. はじめに

鉄筋コンクリート造柱・梁接合部のせん断性状は接合部内を通し配筋された柱・梁主筋の附着性状により変化すると考えられるため、主筋の附着を絶縁した試験体^{[1],[2]}及び附着性状を向上させた試験体^[3]を作製し実験的研究を行ってきた。本研究では、梁主筋の附着性能を良好にした試験体を対象として、大林組で開発された 3 次元有限要素解析プログラム Final Version 9.9^[4]を用いて解析を行い、接合部せん断性状を検討した。

2. 解析方法

2.1 解析対象試験体 対象とした試験体は、文献[3]の平面内柱・梁接合部試験体 M2 及び M3 である。試験体 M2 は繰り返し載荷、試験体 M3 は単調載荷した同配筋の試験体である。また柱幅と梁幅が同一である。図-1 に対象試験体の配筋図を、図-2 に解析モデルの要素分割図を、表-1 に試験体諸元をそれぞれ示す。試験体 M2 及び M3 は接合部内梁主筋の上下に鉄筋を抱合せ溶接し、表面積を増大させることで附着性状が良好となるよう設計した。加力は軸力を載荷せず柱頭に変位制御により載荷した。柱頭、柱脚及び左右梁端の境界条件は実験に従った。

2.2 解析モデル コンクリート要素は 6 面体要素でモデル化した。応力-歪み関係の上昇域には Saenz モデルを用い、圧縮強度到達後の歪み軟化域には修正 Ahmad モデルを使用した。3 軸応力下の破壊条件として Willam-Warnke の 5 パラメータモデルを使用した。柱主筋・梁主筋・接合部横補強筋は線材要素とし、応力-歪み関係は Bi-linear 型とした。柱及び梁の横補強筋は、積層要素として表現した。接合部内における柱・梁主筋とコンクリート

要素間の附着のみリンク要素で表現した。附着-すべり量関係は Elmorsi らのモデルを使用した。附着強度 τ_u 及び附着強度時のすべり量 S_u は実験による測定値を用いた(表-2)。附着強度点以後、梁主筋では τ_u を維持させ、柱主筋では $0.4\tau_u$ (すべりは $2S_u$) まで低下させた。コンクリート要素内は分布ひび割れモデルを用いた。ただし梁危険断面にはリンク要素を設置し曲げひび割れの開閉を表現した。抱き合わせ鉄筋は主筋の表面積を 2 倍、断面積を 3 倍とすることで再現した。

表-2 附着特性

	τ_u , N/mm ²	S_u , mm
梁主筋	2.85	0.156
柱主筋	2.46	0.152

表-1 試験体諸元

(a) 梁部材	(b) 柱部材
主筋(上下とも) 4-D25	主筋 16-D22
断面積 (cm ²) 20.28	断面積 (cm ²) 61.92
鉄筋比 (%) 2.02	鉄筋比 (%) 2.08
補強筋 4-D10	補強筋 4-D10
補強筋間隔 (cm) 6	補強筋間隔 (cm) 6
補強筋比 (%) 1.6	補強筋比 (%) 1.6

(c) 接合部
 補強筋 2-D6 ※軸力は載荷していない
 補強筋間隔 (cm) 2sets@8.0 また接合部内梁主筋は表面積が約 2 倍となっている。
 断面積 (cm²) 1.28
 補強筋比 (%) 0.16

3. 解析結果

3.1 層せん断力-層間変形角関係 実験結果と解析で得られた層せん断力-層間変形角関係を重ねて図-3 に示す。解析における初期剛性および最大層せん断力は実験値とほぼ一致した。最大層せん断力時の変形角は試験体 M3 と比較して 42%、試験体 M2 と比較して 26%小さかった。層せん断力の低下は緩やかであったが、

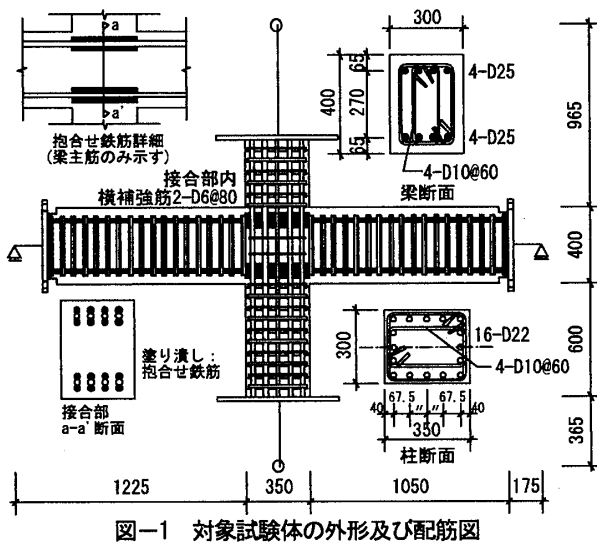


図-1 対象試験体の外形及び配筋図

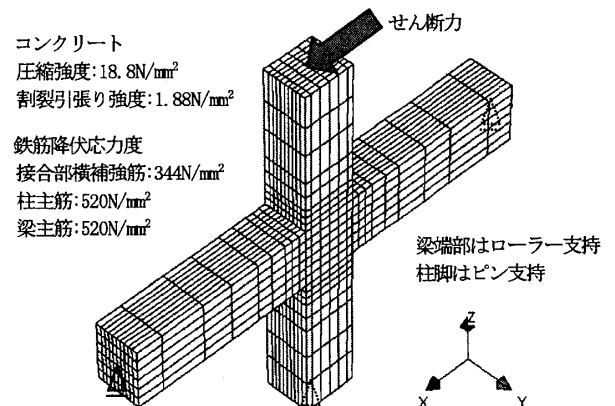


図-2 解析モデルの要素分割図

Three-Dimensional FEM Analysis on Shear Behavior of RC Beam-Column Joints with Good Bond along Beam Bars

MORITA Shirji and KITAYAMA Kazuhiro

繰り返し載荷した試験体M2と近い値となった。これは最大層せん断力以降に接合部パネル内のコンクリート圧壊が進んだことが原因として挙げられる。解析モデルにおいて柱・梁主筋が降伏していないこと及び接合部パネル内コンクリートが圧壊していることから実験と同じく接合部せん断破壊したと判断した。

3.2 接合部圧縮主応力度分布 図-4にY方向中央における接合部パネル内コンクリートの圧縮主応力度分布を示す。接合部対角方向の圧縮主応力度が大きく、圧縮ストラットが形成されていることが分かる。最大層せん断力時には圧縮ストラットの幅が非常に大きくなった。これは梁主筋付着性能を向上させたことにより接合部パネル内の広い範囲に応力が伝達されたためである。図-5に接合部コンクリート圧縮損傷状況を示す。最大層せん断力時には中央部付近のコンクリートが損傷し、その後パネル全域に損傷が広がった。接合部内の広範囲に応力が伝達され得るため、最大層せん断力後も耐力低下が緩やかであったと考えられる。

3.2 接合部水平せん断力 図-6に接合部水平せん断応力度-層間変形角関係を示す。接合部水平せん断応力度 τ_{jh} はパネル中央高さに生じるコンクリートせん断力の積分値を有効断面積で除して求めた。また τ_{jh}' は図中の(1)式で求めた値を有効断面積で除して求めた。 τ_{jh} は最大層せん断力時以降、低下した。図-7に文献[3]で提案した算定式により求めた解析値と実験値の接合部水平せん断力を示す。解析値と実験値はほぼ一致した。しかし、提案式では梁危険断面コンクリート圧縮域の形状を台形に近似したため、図-6における τ_{jh} と差が生じた。 τ_{jh} と(1)式による τ_{jh}' が一致しないのは、梁危険断面コンクリート圧縮領域のせいが梁せいの半分を超えたためである。最大層せん断力時以降、コンクリート圧縮領域のせいは拡大を続けたため、両値の差は拡大した。

4. まとめ

- (1) 解析での最大層せん断力は実験による値とほぼ一致した。接合部パネル内のコンクリート圧壊状況の違いにより最大層せん断力以降の傾向が繰り返し載荷した試験体と近くなった。
- (2) 接合部パネル内に圧縮ストラットの形成を確認した。梁主筋付着性能を向上させたことにより接合部内の圧縮ストラットの幅は広がった。パネル中央コンクリートが圧壊しても接合部内に広く応力が伝達され得るため、耐力低下が緩やかであった。
- (3) 接合部水平せん断力の値は最大層せん断力時以降に低下する傾向を示した。梁危険断面のコンクリート圧縮領域のせいは梁せいの半分を超えて拡大した。接合部水平せん断力を求める際は、コンクリート圧縮領域のせいの重なりを考慮する必要がある。

【参考文献】

[1] 田島, 北山, 奥田, 岸田: RC内柱・梁接合部の破壊と柱・梁通し筋の付着性状との関係, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, pp. 697-702, 2000. [2] 森田, 北山, 岸田: RC造柱・梁接合部の変形性状と入力せん断力に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, pp. 361-366, 2001. [3] 森田, 北山, 岸田, 西川: 主筋付着性状を考慮した鉄筋コンクリート造内柱梁接合部のせん断強度に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 585, pp. 131-137, 2004. 11. [4] 米澤他: 正負繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の三次元非線形 FEM 解析-自社開発ソフト"FINAL"の精進向上-, 大林組技術研究所, 2003.

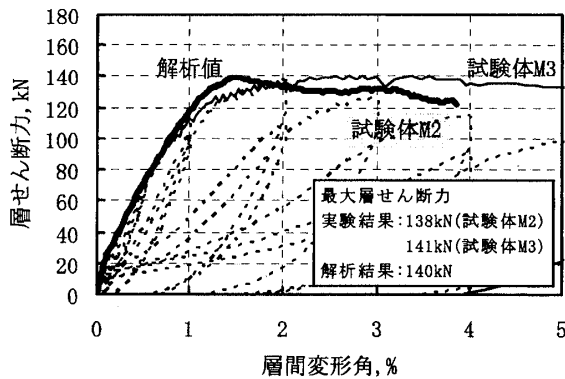


図-3 層せん断力-層間変形角関係

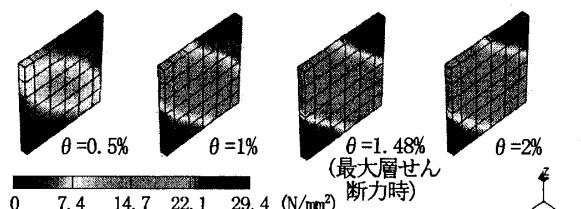


図-4 接合部圧縮主応力度分布

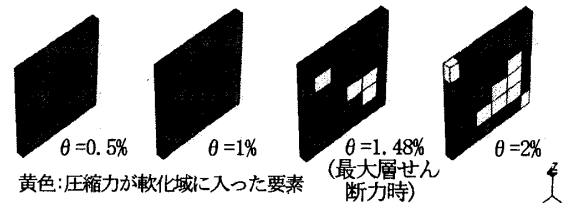


図-5 接合部コンクリート圧縮損傷状況

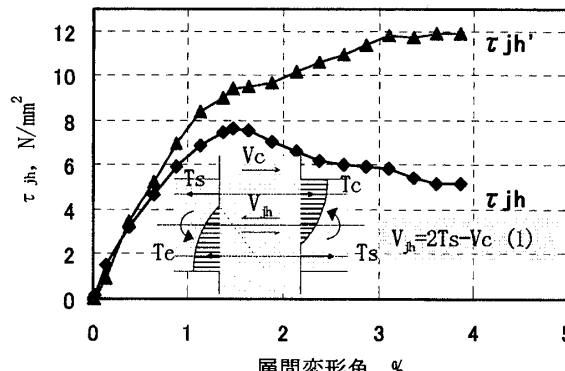


図-6 接合部せん断力-層間変形角関係

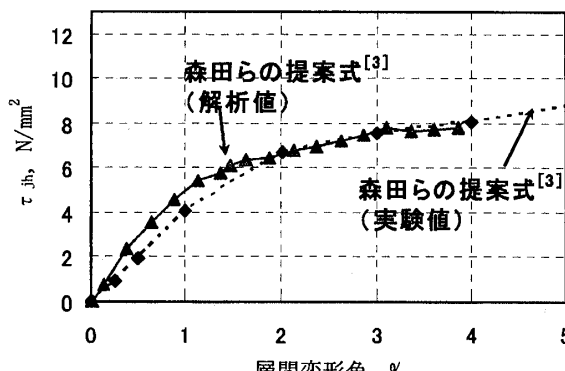


図-7 文献[3]提案式による接合部せん断力

*1 首都大学東京都市環境科学研究所 COE リサーチフェロー 博士(工学)
*2 首都大学東京都市環境科学研究所 准教授・工博

*1 COE Research Fellow, Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
*2 Assoc. Prof., Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.