

鉄筋コンクリート造柱・梁接合部の復元力特性に関する有限要素解析

○ 正会員 吉田 格英 *1
同 北山 和宏 *2

1. はじめに

鉄筋コンクリート造柱・梁接合部に正負繰り返し載荷する実験は多数行われており、梁主筋の降伏後に繰り返し載荷によって接合部にせん断破壊を生じることがある。

梁の降伏後に接合部に入力されるせん断力が一定であっても接合部がせん断破壊する理由を、接合部に発生する斜めせん断ひび割れによるコンクリートの圧縮強度の低下のためと考え、圧縮強度低減を考慮した FEM 解析により検討する。またこれと同時に、解析によって得られた結果から、接合部の内部応力状態を考察する。

2. 解析方法

2-1. 解析対象試験体： 解析モデルには文献[1]の試験体のうち、梁降伏先行型の B2 試験体を使用する。試験体諸元を表-1に示す。試験体は実物の約 1/2 のスケールを持つ平面十字型接合部で、左右梁の支持点間距離は 270cm 上下柱の支持点間距離は 147 cm である。この試験体は梁主筋降伏後に接合部のせん断変形角が急増し、最終的には接合部のせん断圧縮によって破壊した。

2-2. 解析対象のモデル化： 本解析では、文献[2]の 2次元非線形有限要素解析プログラムを使用する。コンクリートの圧縮強度低減係数は文献[3]のモデルを用い、圧縮強度低減を考慮した場合としない場合の 2通りの解析を行った。要素分割は、図-1に示すように点対称条件を用い、加力は実験に従い、柱頭に定軸力 18 tonf を加えた後、柱頭への変位増分法を用いる。

コンクリート：コンクリートは 6 および 8 節点の平面要素で表現する。なお、コンクリートの材料定数は実験時の材料試験結果を用いる。圧縮応力-ひずみ関係の上昇域は Saenz モデルを用い、ひずみ軟化域終点のひずみは最大応力時のひずみを 100 倍して使用する。

鉄筋：柱一段筋、中段筋と、梁主筋を 2 節点線材要素で、また、柱二段筋と各部材の横補強筋を RC 積層要素で表現する。鉄筋の応力度-ひずみ度関係として、柱、梁主筋にバイリニア型のモデルを使用する。鉄筋の材料定数は実験時の材料試験結果を用いた。

付着：柱、梁主筋とコンクリートの付着は離散型のボンドリンク要素で表現し、ボンドリンク定数は実験結果の付着応力度-すべり量関係から求めた。

ひび割れ：ひび割れモデルには分布型ひび割れモデルを使用し、特に曲げひび割れの開口が顕著となる柱梁危険断面位置には離散型ひび割れモデルを使用する。

3. 解析結果

(1) 層せん断力-層間変位関係： 実験および単調載荷解析による層せん断力-層間変位関係を図-2に示す。圧縮強度低減を考慮しない場合の解析値は、層間部材角 1/50 rad 程度まで実験結果とほぼ良好な対応を示し、梁主筋の降伏時期もほぼ一致した。破壊は柱、梁の曲げひび割れ、接合部のせん断ひび割れの順で発生し、梁主筋降伏後(図中①：一段筋)接合部内コンクリートの

表-1 試験体諸元

梁	上端主筋	8-D13
	下端主筋	8-D13
柱	あばら筋	R6 ϕ 50
	主帯筋	16-D16
接合部	帯筋	R6 ϕ 50
	筋	2-R6
コンクリート強度 f'_c (kgf/cm ²)		250
最大荷重時ひずみ ($\times 10^{-6}$)		3740
1/4割線剛性 ($\times 10^5$ kgf/cm ²)		2.19

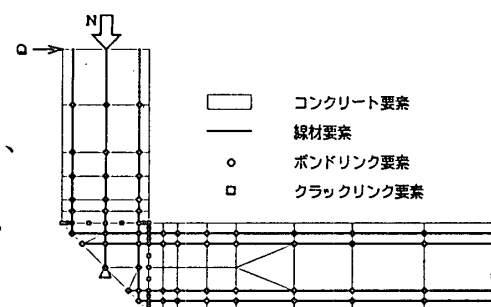


図-1 有限要素分割図

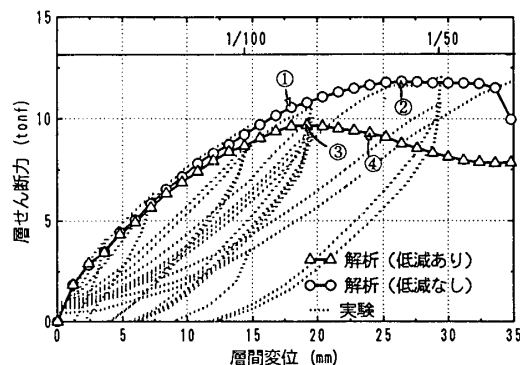


図-2 層せん断力-層間変位関係

Finite Element Analysis on Restoring Force Characteristics of Reinforced Concrete Beam-Column Joint

YOSHIDA kakuhide and KITAYAMA kazuhiko

圧壊（図中②）とともに最大耐力に達した。圧縮強度低減を考慮した解析では、横補強筋の降伏、接合部内コンクリートの圧壊（図中③）が実験結果に比べ早期に発生し最大耐力に達したが、最大耐力も実験値を大きく下回った。また梁主筋は最大耐力到達後一段筋のみ降伏（図中④）し、二段筋に降伏は見られなかった。

(2) 主応力度： 解析により得られた主応力度図（図-3）から、コンクリート圧縮ストラットの存在が示唆される。接合部内での梁主筋付着劣化によって、圧縮側鉄筋の引張りへの転化が生じる。その結果接合部圧縮側端部には、梁端コンクリートからの圧縮力の他に、引張りに転化した圧縮側鉄筋が梁部材を接合部に引き寄せることによって生じる圧縮力が加わり、力の釣合から、

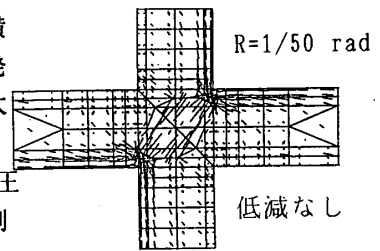


図-3 主応力度図

梁軸に対する圧縮主応力度の角度は付着良好の場合に比べて緩やかになると考えられる。しかし本解析において用いたボンドリンクは最大付着応力到達後付着応力を維持するモデルであったため、梁主筋の引張り力は付着作用によって減少し、主応力度の角度はほぼ一定の傾向を示した。（図-4）

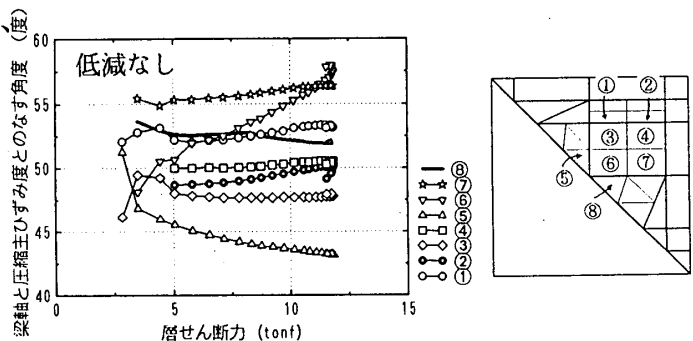


図-4 梁軸と圧縮主ひずみ度の方向とのなす角度

(3) 接合部のせん断ひずみ度-層せん断力関係：

図-5に接合部せん断ひずみ度-層せん断力関係を示す。実験値と比較して、解析では接合部内コンクリートのせん断ひび割れが実験値より早期に発生し、せん断ひび割れ発生後（図中①）の剛性低下が顕著であり、せん断ひび割れによるひずみ度の増加の影響が大きく現れていることがわかる。また、履歴特性は圧縮強度低減を考慮しない場合の解析結果の方が実験との対応が良好であった。

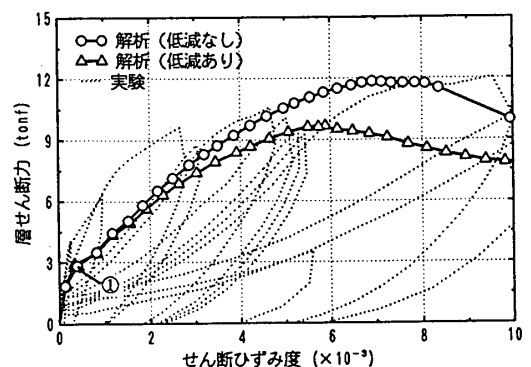


図-5 接合部パネルのせん断ひずみ度-層せん断力関係

(4) 接合部内梁主筋の付着力-層間変位関係： 接合部内梁主筋の付着力の和-層間変位関係を、一段筋について図-6に示す。実験値と比較して、梁一段筋では、圧縮強度低減を考慮した場合はほぼ良好な対応を示している。また、圧縮強度低減を考慮しない場合の履歴は、層間部材角 1/75 rad 程度までは実験値とほぼ良好な対応を示しているが、それ以降では解析値が実験値を上回った。二段筋では実験値と比べて解析値が両者とも大きく上回った。ただし圧縮強度低減を考慮した解析では途中から付着力が減少に転じており、定性的には実験結果を再現した。

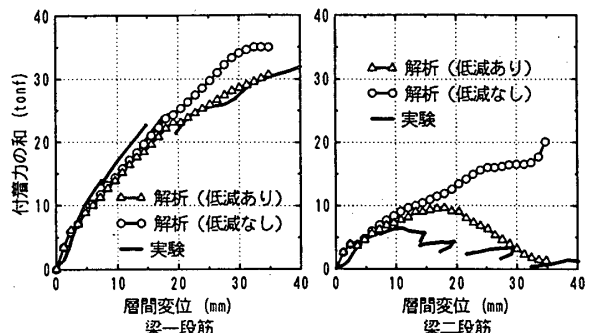


図-6 接合部内付着力-層間変位関係

4. まとめ

ひび割れによるコンクリート圧縮強度低減の有無が柱、梁接合部の内部性状に与える影響を FEM 解析によって検討した。全体の力と変位の関係は、圧縮強度低減を考慮しない場合の方が実験値との対応が良好であった。しかし、この場合も梁付け根部分のコンクリートの早期圧壊など実験結果とは若干違った挙動を示した。また、内部応力状態（特に付着力）は圧縮強度低減を考慮した場合の解析の方が対応が良好であり、定性的には実験結果と良好な対応を示した。本解析で用いた圧縮強度低減係数は、横拘束筋を配していない試験体の実験に基づくものであるため、圧縮強度低減を考慮した場合の解析では、圧縮強度低減の影響が実際よりも過大に現れたと考えられる。

参考文献

- [1]北山和宏ほか：鉄筋コンクリート造骨組みにおける内柱・梁接合部の耐震設計法、コンクリート工学年次論文報告集, vol.10-3, 1988, pp. 491-496.
- [2]内田和弘ほか：混合構造接合部の有限要素解析、コンクリート工学年次論文報告集, vol.14-2, 1992, pp. 15-20.
- [3]池田浩一郎ほか：ひび割れた直方体コンクリートの圧縮強度低減に関する実験的研究、建築学会学術講演梗概集, Sept., 1993, pp. 205-206.

*1 東京都立大学大学院修士課程
*2 東京都立大学工学部建築学科 助教授・工博

Graduate School, Tokyo Metropolitan Univ.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Technology,
Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.