

[166] RC柱・はり接合部のJCI選定試験体の非線形解析

正会員 野口 博 (千葉大学工学部)
 正会員 〇寺崎 浩 (千葉大学大学院)

1. はじめに

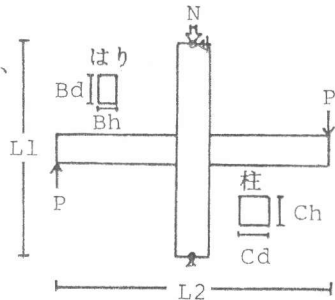
鉄筋コンクリート(RC)柱・はり接合部の実験例は数多いが、その中で最も数の多い十字型接合部試験体から、接合部がせん断破壊した4例が、市之瀬によりJCI選定試験体として選ばれた。¹⁾ 本報告は異なる破壊モードで降伏した各試験体の非線形有限要素解析を行い、試験体のパラメータが降伏モードに与える影響について考察する。

2. 解析対象とした試験体

表1に解析対象とした選定試験体の寸法を示す。試験体は、大和田によるものをNo.1、多田・武田・竹本によるものをNo.2、石橋・上村によるものをNo.3、Park・MilburnによるものをNo.4とした。

表1 試験体の寸法

	L1	L2	Cd	Ch	Bd	Bh
No.1	200	160	20	20	30	15
No.2	250	170	30	30	30	15
No.3	500	350	60	60	66	66
No.4	574	335	40.6	30.5	45.7	22.9



No.1は柱主筋に10-D13、はり主筋に8-D13を用いている。 $F_c=137\text{kgf/cm}^2$ とコンクリート強度が低い。軸力による応力は $\sigma_c=40\text{kgf/cm}^2$ で、実験での破壊ははりが降伏する前に接合部がせん断破壊した。なお、接合部のフープ筋のない試験体をNo.1'として解析した。No.2は柱主筋に8-D22を用い、はり主筋には6-D22を用いている。軸力による応力は $\sigma_c=50\text{kgf/cm}^2$ で実験でははり降伏後に接合部のせん断破壊とはり主筋の付着破壊が同時進行した。No.3は主筋に太径鉄筋D51を用い、柱は4-D51、はりは6-D51としている。軸力による応力は $\sigma_c=60\text{kgf/cm}^2$ とし、実験でははり降伏とほぼ同時に接合部がせん断破壊した。No.4は1982年のニュージーランドRC規準により設計されていて、はりの塑性ヒンジが柱面より離れるよう設計された。柱には6-D24(中間筋を含む)を用い、接合部とその近辺のはりには12-D20、その他のはりには8-D20を用いている。またこの試験体は、 $F_c=478\text{kgf/cm}^2$ と高いコンクリート圧縮強度であり、軸力による応力は $\sigma_c=0.1F_c$ である。実験でははり降伏後大変形で接合部がせん断破壊した。

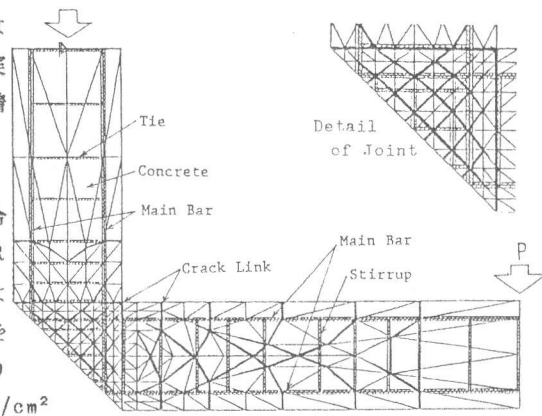


図1 要素分割図

3. 要素分割

試験体と荷重の点対称性を利用し、全体の1/2を解析した。各試験体はそれぞれサイズが異なっているが、主筋の配筋の異なるNo.4以外のNo.1~No.3は等しい分割とした。No.2の分割を図1に示す。No.4については、はり主筋の2段配筋と柱の中間筋を表現した。ひびわれは離散ひびわれ(discrete-crack)、鉄筋は線材要素で表現し、付着にはボンド・リンクを用いた。なお、要素分割は繰返し載荷用としたが、解析は単調載荷で行った。

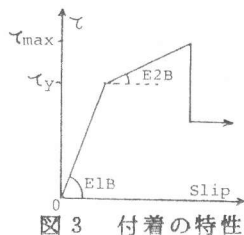


図3 付着の特性

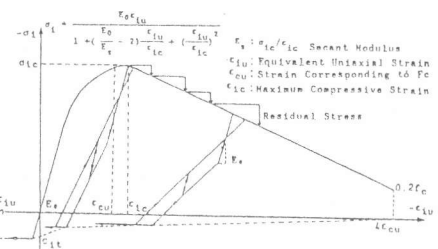


図2 コンクリートの特性

表2 コンクリートの材料定数

	No.1	No.2	No.3	No.4
$F_c(\text{kgf/cm}^2)$	137	290	330	478
$F_t(\text{kgf/cm}^2)$	24.9	31.7	45.1	62
$E_0(\text{kgf/cm}^2)$	1.79×10^5	2.2×10^5	2.59×10^5	3.2×10^5
βC_c (%)	0.211	0.208	0.2	0.23

4. 材料のモデル化

コンクリートと付着特性のモデル化を図2～3に示す。鉄筋の材料特性はbi-linearで表現した。解析に用いた材料定数を表2～4に示す。コンクリートの引張強度には曲げ破壊係数を用い、割裂強度の1.67倍とした。最大付着強度は、付着実験に比べ部材内部の方がかなり低いという林・黒正らの研究²⁾を参考に、日本建築学会鉄筋コンクリート構造設計規準の長期許容付着応力度の3倍を標準の最大付着応力度とした。また、既往の解析結果³⁾から接合部内の圧縮部の最大付着応力度は、標準の1.5倍とし、ひびわれより2.5d以内の τ は標準の半分とした。

5. 破壊経過

緒現象発生荷重を表5に示す。また、最大耐力付近での接合部の変形図を図4～7に示す(○はひずみ軟化域、○は圧壊点を示す。) No.1は1.3tfで接合部にせん断ひびわれが生じた後、1.8tfより対角の圧縮ストラットに圧壊が生じ始め、荷重の上昇と共に圧壊が急激にみられるのが特徴である。No.1とNo.1'とを比べると、同じ荷重ではNo.1'の方が圧壊が顕著で、せん断ひびわれのひびわれ幅もNo.1'の方が広い。付着については、2.7tfより接合部の引張鉄筋の付着の降伏が進展し、2.95tfでははり主筋が降伏した。No.1'の付着も同様な挙動を示した。No.2とNo.3はNo.1と同様に、曲げ、せん断ひびわれ発生後に圧壊が生じた。No.2は8tfで接合部フープ筋に降伏を生じ、その後接合部内のはり引張主筋に付着の降伏を起こしながら8.25tfにはり主筋が降伏した。No.3はコンクリートに圧壊が生じる前にはり主筋の付着降伏を生じ、接合部、はりの両方に降伏が進展し、45tfではり主筋が降伏した後も47.5tfまで耐力が上がった。No.4は曲げ及びせん断ひびわれが生じたのちも、接合部の圧縮ストラットにはほとんど圧壊を生じなかった。85KNよりはり主筋が減少する部分ではり主筋が降伏し、はりに塑性ヒンジを生じた。その後、荷重の増加にともない、はり外側の鉄筋の降伏が柱側に進展した。

6. 荷重-変位関係

No.1～No.4のはり端荷重-変位関係を図8～11に示す。No.1、No.1'は1.0tfより実験と解析に差が生じ始めるが耐力はよく一致している。接合部にせん断補強筋のないNo.1'はNo.1に比べて耐力はやや低くなるが、せん断補強筋

表3 付着特性の材料定数

	No.1,1'	No.2	No.3	No.4
τ_y (kgf/cm ²)	19.2	28	30	32
τ_{max} (kgf/cm ²)	40	60	62	77
E1B (kgf/cm ³)	8000	8000	8000	8000
E2B (kgf/cm ³)	400	400	400	400

表4 鉄筋の材料定数

	No.1	No.2	No.3	No.4
Beam Bar				
s σ_y (kgf/cm ²)	3930	3870	4090	3068
Es (kgf/cm ²)	1.94x10 ⁶	1.94x10 ⁶	2.16x10 ⁶	2.4x10 ⁶
Column Bar				
s σ_y (kgf/cm ²)	3930	3870	4090	4697
Es (kgf/cm ²)	1.94x10 ⁶	1.94x10 ⁶	2.16x10 ⁶	2.4x10 ⁶
Stirrup and Tie				
s σ_y (kgf/cm ²)	2500	3200	3550	3198 2848*
Es (kgf/cm ²)	1.98x10 ⁶	1.98x10 ⁶	1.91x10 ⁶	2.4x10 ⁶

* 接合部フープ

表5 諸現象発生荷重

	No.1	No.1'	No.2	No.3	No.4
はりの曲げひびわれ	0.8	0.8	1 (1.5)	10 (8)	14
接合部せん断ひびわれ	1.3 (0.9)	1.3	2.5 (3.5)	16.5 (18)	35
柱の曲げひびわれ	1.3	1.3	4 (3.5)	27 (20)	25
コンクリートの圧壊	1.8	1.8	4	27	70
はり主筋の降伏	2.95	2.9	8.25 (8.5)	45 (51.5)	85
フープ筋の降伏	*	-	8	45 (45)	*

* 発生せず

単位 No.1-No.3 (kgf) No.4 (KN)

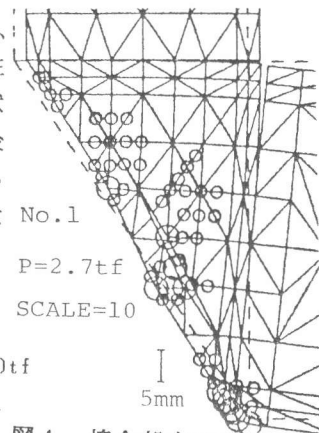


図4 接合部変形図

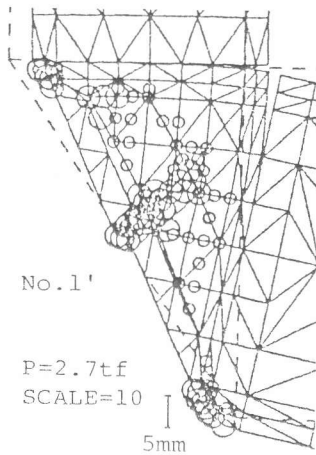


図5 接合部変形図

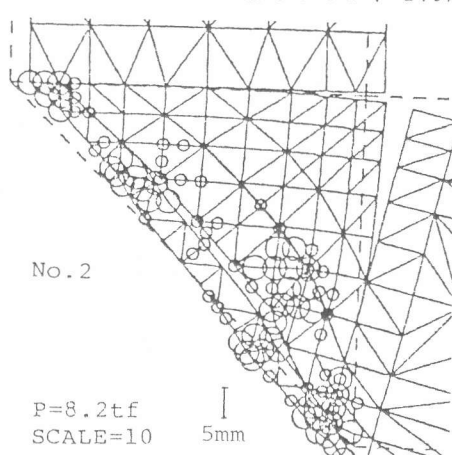


図6 接合部変形図

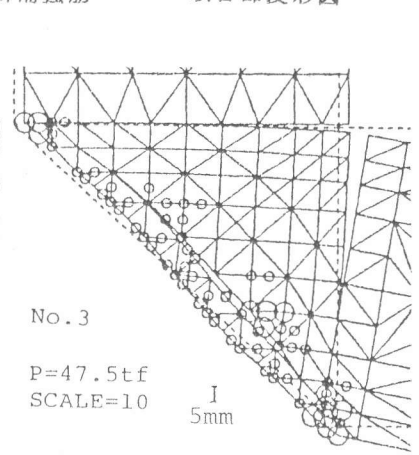


図7 接合部変形図

による耐力の上昇は4%程度で解析には顕著な差がみられなかった。なお、解析ではNo.1のせん断補強筋は降伏には至らなかった。No.2では6tfまではよく対応したが、解析では6tfから対角圧縮ストラットに圧壊を生じ始め8tfには圧壊が顕著になり最大耐力に達した。No.3では解析は実験によく対応しており45tfでのはり主筋の降伏により耐力が決定した。No.4では60KNまでは非常に良く対応しているが、それ以降は解析の剛性低下は実験ほど顕著でない。

7. 荷重-せん断変形関係

接合部の挙動を比較するために図12~14にNo.1~No.3の荷重-せん断変形関係を示し、No.4のはりの塑性ヒンジにおける挙動を調べるために、柱面より594mm離れた位置での荷重-曲率関係を図15に示す。曲率は対応する位置の鉄筋のひずみより求めた。No.1に比べるとNo.1'ではやや低い荷重で接合部に急激な圧壊が生じ、その後変形の増大が顕著であった。No.2については、実験より解析の方が接合部の変形がやや大きい。No.3ではせん断変形角は45tfまでは良く対応しているが45tfで接合部のフープ筋が降伏した後に、接合部の変形が実験よりやや大きめとなった。No.4の荷重-曲率関係は60KN以上での対応がみられない。これは、塑性ヒンジの発生が遅れその後接合部内へ向かって外側の鉄筋の降伏が進展したためである。荷重-変位関係は60KNまでは良好な対応をしているので、No.4の解析では鉄筋の降伏が実験と十分に対応しなかったために耐力が相当上がったものと思われる。

8. 層間変位成分

図16にはり、柱、接合部の変形が層間変位に占める割合と諸現象の発生を示す。No.1とNo.1'はほとんど同じ変化を示し、共に接合部に圧壊が生じた後に急激に接合部の圧壊が生じた。No.2では接合部に圧壊が生じた後の接合部の破壊はNo.1ほど顕著でなく、8tf近くで接合部が急激に破壊し、はり主筋、接合部フープ筋が降伏した。No.2もNo.3と類似した挙動を示すが、はり主筋と接合部フープ筋の降伏後に接合部の破壊が急激に進展した。No.1、No.1'では接合部の破壊が支配的であり、No.2、No.3ではNo.1ほど

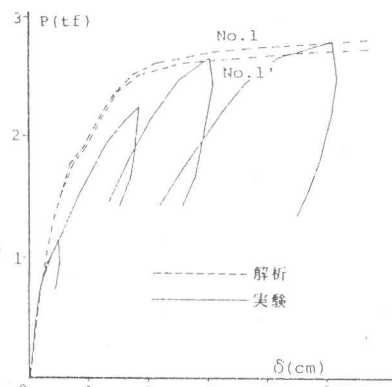


図8 荷重-変位関係

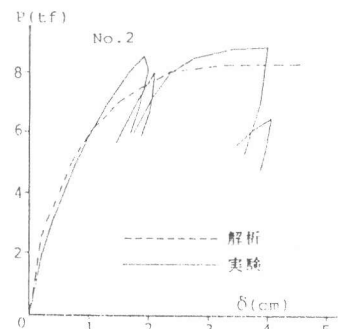


図9 荷重-変位関係

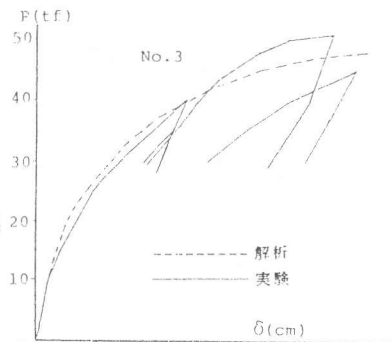


図10 荷重-変位関係

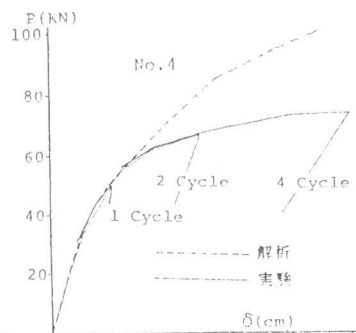


図11 荷重-変位関係

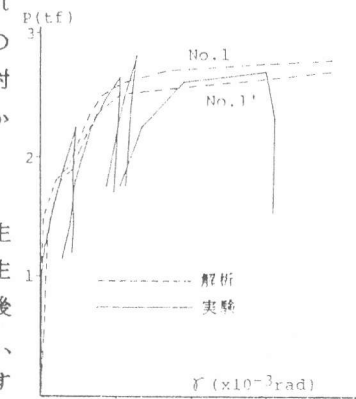


図12 荷重-せん断変形関係

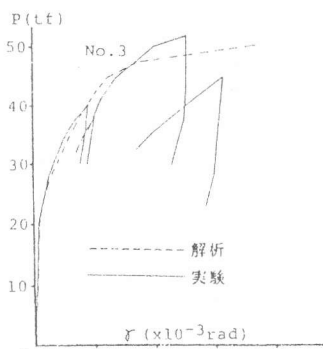


図13 荷重-せん断変形関係

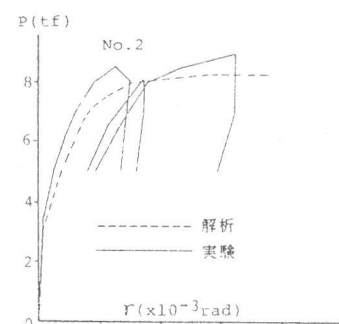


図14 荷重-せん断変形関係

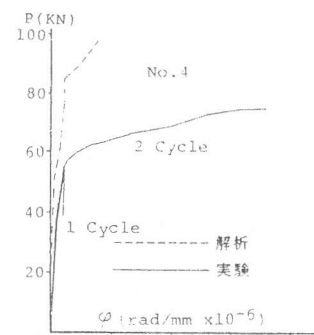


図15 荷重-曲率関係

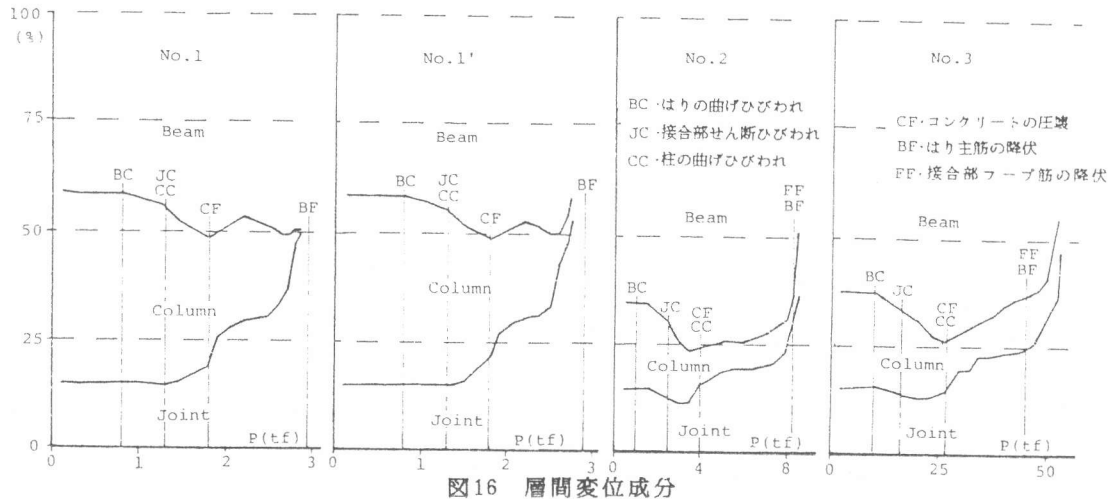


図16 層間変位成分

接合部の破壊は支配的ではないが、はり主筋及び接合部フープ筋の降伏がほぼ同時期に生じた後は接合部の変形が急激に進展した。

9. まとめ

以下にNo.1~No.4の解析による挙動をまとめる。

No.1: 圧壊が生じた後、接合部の破壊が急激に進展して破壊した。解析でははり主筋の降伏が生じたが、それ以前に接合部のせん断破壊により破壊した。

No.1': No.1とほぼ等しい挙動を示したが、圧壊後の接合部変形の増大がNo.1より早く、顕著だった。これもはり主筋が降伏する前に接合部のせん断破壊により破壊した。

No.2: 圧壊が生じた後、接合部フープ筋の降伏を伴う接合部のせん断破壊、はり主筋の付着破壊、及びはり主筋の降伏がほぼ同時に生じて降伏した。

No.3: 付着降伏が生じた後、接合部の圧壊が生じ、さらに付着降伏の進展とはり主筋降伏を伴った接合部のせん断破壊により破壊した。

No.4: 接合部にはほとんど圧壊を生じず、はり主筋の降伏により変形が増大した。

No.1, No.1'は実験でもはり主筋が降伏する前に接合部がせん断破壊したので、実験と解析における破壊モードの対応は十分である。No.2については、実験でははり主筋の降伏が先行するが、接合部のせん断破壊とはり主筋の付着破壊が同時に生じたので、実験と解析での破壊モードの対応は良好である。No.3については、解析では降伏後も耐力が上がり、接合部の破壊が遅れた。今後D51筋の付着特性の検討が必要である。No.4については、2段配筋されたはり主筋の上下鉄筋間の応力伝達が十分でなく、解析では最大荷重での外側鉄筋のみずみは内側鉄筋の100倍程になった。また高強度コンクリートの付着特性が与える影響が大きく、塑性ヒンジのモデル化と共に検討が必要である。今後はこれらの問題と共に、繰返し載荷によるコンクリートのせん断劣化及び付着劣化の影響についても検討していきたい。また、No.1, No.1'のようにパラメータを絞った系統的な解析を行い、パラメータが各抵抗要素、およびその相互作用に与える影響を明確にしたい。

謝辞 本研究の一部は、昭和58年度科学研究費補助金(総合研究(A):課題番号58350035、研究代表者:青山 博之)によった。ここに深謝致します。

【参考文献】

- 1) JCI・RC構造のせん断強度委員会、「解析モデル検証用試験体の実験データ集」第2回せん断コロキウム, JCI-C6, 1983年10月 PP.21-40
- 2) 林・黒正、「はり主筋の付着すべり性状におよぼすシアスパン比の影響」(異形鉄筋とコンクリートの付着に関する基礎的研究その4)日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和58年9月, PP.1881-1882
- 3) 野口・長沼、「繰返し荷重を受けるRC柱・はり接合部の非線形解析」第2回せん断コロキウム論文集, JCI-C5, 1983年10月, PP. 139-146
- 4) 野口・長沼、「繰返し荷重を受けるRC部材のせん断解析モデル」第2回せん断コロキウム論文集, JCI-C5, 1983年10月, PP. 97-104