

論文

[2076] 高強度鉄筋コンクリート造柱-はり接合部の静・動的加力実験

正会員○早川幸孝(間組 技術研究所)

正会員 島崎和司(間組 技術研究所)

1. はじめに

柱-はり接合部は、柱と同様に軸力を負担する部材であるために破壊を許さない設計となっている。ところが、近年の鉄筋コンクリート造建物の構造設計例において、高強度コンクリートと太径鉄筋の使用により、柱-はり接合部のコンクリートや接合部内定着鉄筋の応力レベルが高くなってきている。そのため、接合部コンクリートパネルのせん断ひび割れの発生や、はり主筋の付着劣化を完全に防ぐことはむずかしい。そこで、鉄筋コンクリート建造物の耐震性の評価には接合部の復元力特性を適切に評価する必要があると考えられる。

本論文では、これらのことを考慮し、接合部の応力状態がきびしい2.5階建て程度の建物の中柱接合部を想定してはり主筋の接合部内での拘束状態と、加力速度をパラメータとした柱-はり接合部の加力実験を行い、接合部の復元力特性についての検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、静的加力を行ったN-S、動的加力を行ったN-D、接合部内の付着改善を目的として、接合部内のはり主筋にスターラップを締結し、静的加力を行ったB-Sの3体とした。B-S試験体の配筋および試験体形状を図-1に、試験体パラメータの一覧を表-1に示す。N-S、N-Dでは、接合部内スターラップが無い事を除き配筋および形状はすべて同一である。試験体形状は、柱断面を40x40cm、はり断面を30x40cmとした。コンクリートは、設計基準強度420kgf/cm²とし、柱主筋および梁主筋にはD19を使用した。せん断補強筋には、高強度鉄筋U6.4を使用した。コンクリートおよび鉄筋の試験結果を表-2、3に示す。ただし、N-Dの材料試験は、動的加力も行った。

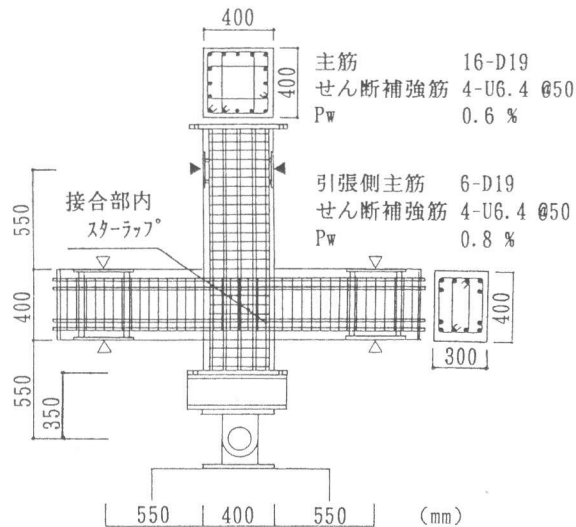


図-1 配筋および試験体形状 (B-S)

表-1 試験体一覧

	N-S	N-D	B-S
加力	静	動	静
接合部内 スターラップ	無	無	有

2.2 加力方法

加力装置を図-2に示す。水平力は、反力壁に取り付けた100tonf動的アクチュエータにより載荷した。はりのスパン中央相当点にクレビス支柱を設置することにより反力をとり、また柱下部をピン支持とすることで+字形部材に逆対象モーメントを生じさせた。柱軸力は100tonf(0.15Fc)とし、P C鋼棒を締め付ける事で導入し、実験中一定に保持した。水平力の制御は変

位(部材角)制御とし、各試験体とも、 $R=1/500$ 、 $1/200$ 、 $1/100$ 、 $1/50$ radで3回繰り返しの行ない、それ以降は試験体の破損状況に応じ加力した。動的加力の場合は、実際の地震時の建物の部材角速度に合わせるために周波数を一定とし、建物周期を1秒として1 Hzのsin波で加力を行った。材料試験のひずみ速度は、周期1秒で振幅が 2500μ 程度の平均的なひずみ速度として $0.01/\text{sec}$ とした。

2. 3 計測方法

はりの支点間を基準として、柱および接合部の相対変位を計測した。接合部では、変位計を対角に設置し、直接せん断変形を計測した。主筋やせん断補強筋のひずみは、ひずみゲージを貼付して計測を行った。

3. 実験結果

3. 1 破壊状況

最終破壊状況を図-3(a)~(c)に示す。N-Sでは、はりの曲げひび割れ、せん断ひび割れと接合部の曲げひび割れが発生した後、 $R=1/200$ radで接合部にせん断ひび割れが発生した。B-Sでは、接合部のせん断ひび割れは $R=1/500$ radで発生し、動的加力をしたN-Dは $R=1/200$ radで発生した。その後、N-S、B-Sともに $R=1/50$ radではり端で柱主筋に沿ったひび割れが発生し、はり端部で圧壊が進み $R=1/20$ radではりと接合部のせん断ひび割れが拡大した。N-Dでは、 $R=1/50$ radで柱主筋に沿ったひび割れが発生し、静的加力よりもひび割れ本数が少なく、幅は大きかった。 $R=1/30$ radではり、接合部ともせん断ひび割れが大きくなり、ここで3回

表-2 コンクリートの材料試験結果

	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
N-S	535	32.2	3.46×10^5
N-D	653	37.9	3.53×10^5
	559	—	3.44×10^5
B-S	538	29.6	3.39×10^5

■部は動的加力を行った試験体

表-3 鉄筋の材料試験結果

	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)
D19	4674	6410	1.93×10^6	2626
	4460	6202	1.90×10^6	2456
U6.4	15023	18885	2.10×10^6	7675
	14846	18803	2.11×10^6	7886

■部は動的加力を行った試験体

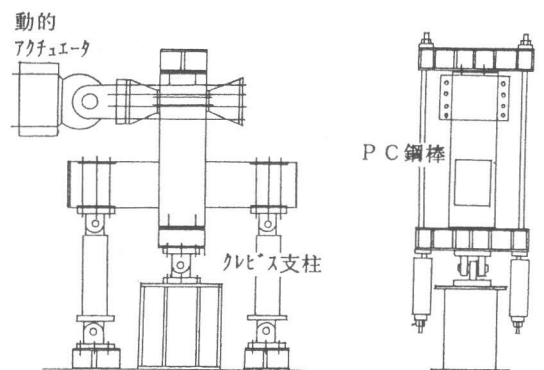


図-2 加力方法

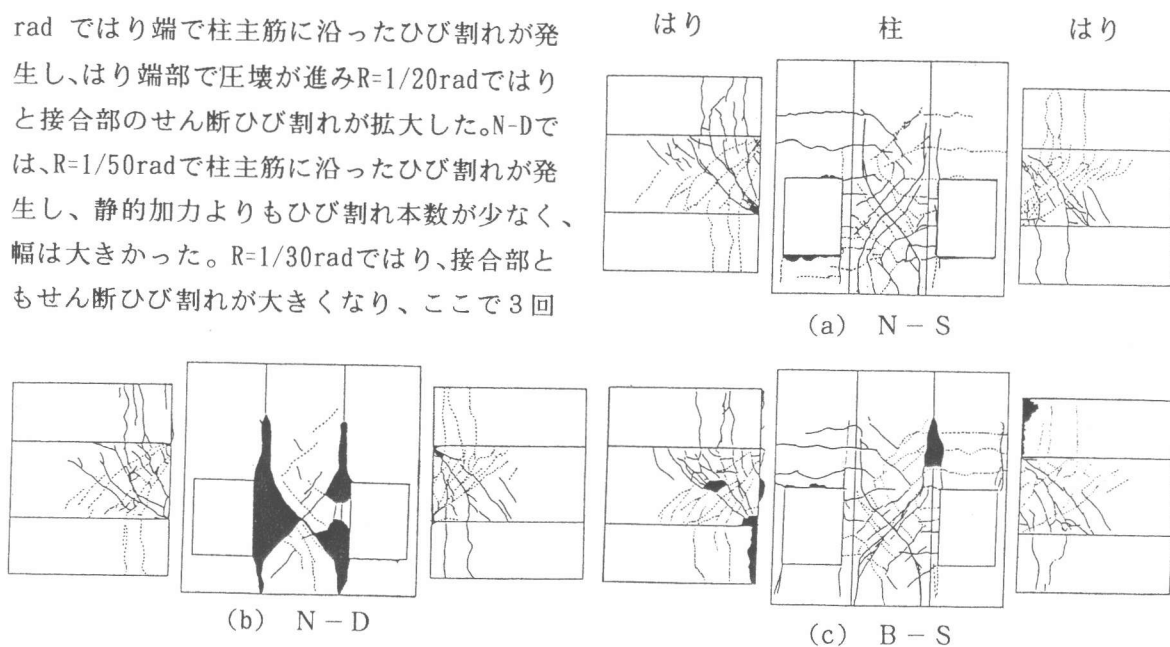


図-3 最終破壊状況

の繰り返しを行ったため、接合部のカバーコンクリートの大部分が剥落に至った。

3. 2 荷重変形関係

荷重-層変形関係を図-4(a)~(c)に示す。3体ともはり主筋は、 $R=1/100\text{rad}$ で降伏し、その後 $R=1/30\text{rad}$ 以上変形するが、急激な耐力の低下はみられなかった。ループ形状は、はり降伏後に逆S字型に移行した。最大耐力は、動的加力を行ったN-Dが、N-Sより1割程度大きくなった。

3. 3 ひずみ速度

図-5(a)にN-Dの接合部のせん断ひずみによる荷重-ひずみ速度関係を示す。接合部では、 $R=1/50, 1/100\text{rad}$ でおよそ $70 \times 10^{-3}/\text{sec}$ のかなり大きなひずみ速度となった。(b)にN-Dの正加力時に引張ひずみとなる接合部内の柱主筋の荷重-ひずみ速度関係を示す。最大ひずみ速度は $45 \times 10^{-3}/\text{sec}$ であり、最大荷重点近くでもかなりの速度を示している。

4. 結果の検討

4. 1 等価粘性減衰定数

各部材角ごとの等価粘性減衰定数を図-6に示す。N-Dは、はりが降伏した $R=1/100\text{rad}$ 前までは静的加力をした試験体に比べ少し低い値となったが、降伏後には明確な違いがなくなった。N-SとB-Sに大きな差異は見られなかった。全体的には $R=1/50\text{rad}$ でかなり大きくなった。

4. 2 耐力計算

表-4に部材の耐力の計算値と実験値の比較を示す。計算に用いた既往の式を表-4の脚注に示す。N-Dの材料強度には、動的加力を行った値を用いた。はりの計算値は実験値とよく適合しているが、N-Dに関しては、材料強度にひずみ速度効果を考慮しても実験値を過小評価している。接合部のせん断ひび割れ荷重は実験値に近い値となった。

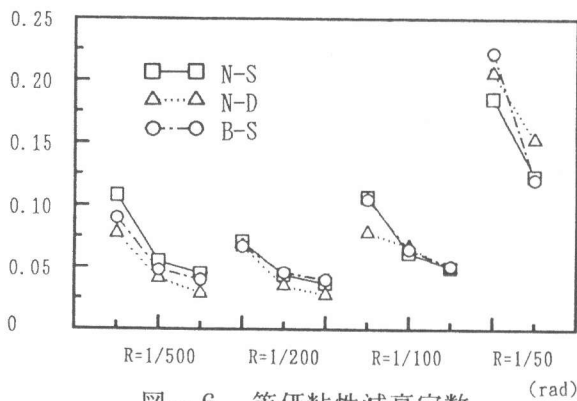
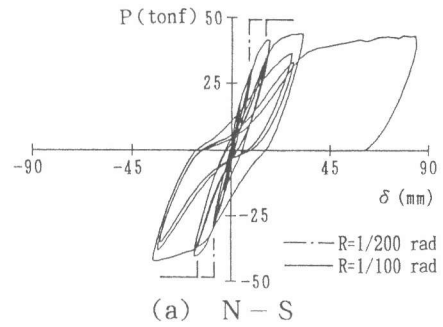
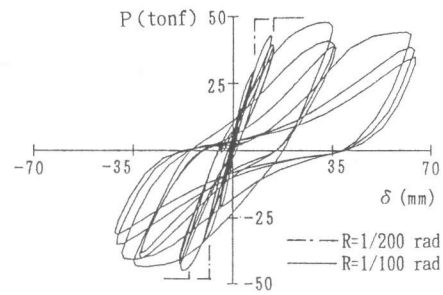


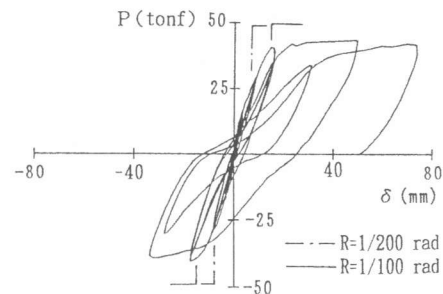
図-6 等価粘性減衰定数



(a) N-S

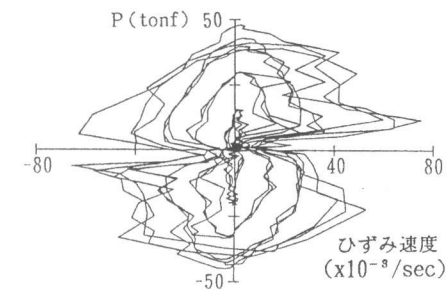


(b) N-D

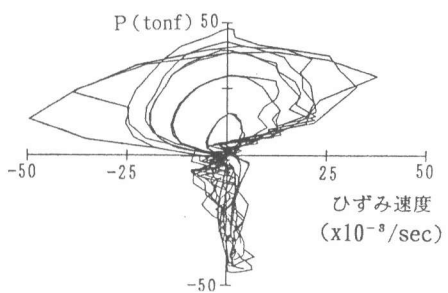


(c) B-S

図-4 荷重-層変形関係



(a)接合部せん断ひずみ



(b)接合部内柱主筋

図-5 荷重-ひずみ速度関係

表-4 諸荷重一覧 [1],[2],[3]

	接合部						はり		
	せん断ひび割れ応力度			最大せん断応力度			終局曲げ強度		
	実験値 τ_{tc} (kgf/cm ²)	計算値(1) τ_c (kgf/cm ²)	実 / 計	実験値 τ_{tp} (kgf/cm ²)	計算値(2) τ_p (kgf/cm ²)	実 / 計	実験値 Q_t (tonf)	計算値(3) Q_u (tonf)	実 / 計
N-S	64	68	0.94	159	200	0.80	43.9	40.6	1.08
N-D	-	73	-	173	245	0.71	47.9	42.5	1.13
B-S	78	69	1.13	159	202	0.79	43.4	40.6	1.07

$$(\tau_c / \sqrt{\sigma_B})^2 = 1.6^2 + 1.6 \sigma_c / \sqrt{\sigma_B} \quad (1)$$

τ_c : 接合部のひび割れ強度
 σ_B : コンクリートの圧縮強度
 σ_c : 柱軸方向応力度 (圧縮を正)

$$Q_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d / L \quad (3)$$

Q_u : 終局曲げ耐力
 a_t : 引張鉄筋断面積
 σ_y : 引張鉄筋降伏応力度
 d : はりの有効せい
 L : はり支点から引張縁までの距離

$$\tau_p = V_{ju} / b_j \cdot D_j$$

$$V_{ju} = \kappa \sigma_B b_j D_j \quad (2)$$

τ_p : 終局せん断応力度
 V_{ju} : 終局せん断耐力
 b_j : 接合部有効幅 $b_j = b_b + b_{a1} + b_{a2}$
 b_{a1} : $b_i/2$ または $D_j/4$ の小さい方
 b_b : はり幅, b_i : はり両側面からこれに平行する柱面までの長さ
 D_j : 柱せい
 κ : 加力方向形状によって定まる係数 (+型の場合 0.3)
 σ_B : コンクリートの圧縮強度

4. 3 接合部せん断応力-せん断ひずみ関係

図-7に接合部内せん断応力-せん断ひずみ関係を示す。図には、表-4の脚注に示す既往の式により設定した復元力特性も示した。設定方法としては、最初にせん断弾性剛性により求めた線上において式(1)より計算したせん断ひび割れ点を折り曲がり点とした。次に、 $R=4 \times 10^{-3}$ radの点を最大耐力点と仮定し、式(2)で求めた終局せん断強度とせん断ひび割れ点を結び、剛性低下後の復元力特性を示した。3体ともほぼ設定した復元力特性が実験値を表しているが、B-Sを除き、計算式が実験値より大きな値となっている。これは、本実験のコンクリート強度が終局せん断応力度の算出に用いた式の適用範囲外の高強度であるため、剛性低下が大きかったためと考えられるが、B-Sは、接合部内のせん断補強による剛性の増加により他の2体よりよく適合したものと考えられる。

5. 結論

接合部の復元力特性に着目して実験を行った結果以下のことがわかった。1)接合部のせん断応力-せん断ひずみ関係を既往の式でモデル化ができた。2)今回の実験のひずみ速度では、加力速度の違いによる復元力に及ぼす影響は少なく動的効果はあまり無かった。3)接合部内スターラップは、高強度コンクリートを使用した本実験では、その影響は見られなかった。

参考文献

- 1) 異形鉄筋コンクリート設計法研究会: 異形鉄筋コンクリート設計法、技報堂、1971
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針(案)・同解説、1988
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、1988
- 4) 早川幸孝・島崎和司: 短スパン梁の靱性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 12、No. 2、pp. 179-184、1990. 6

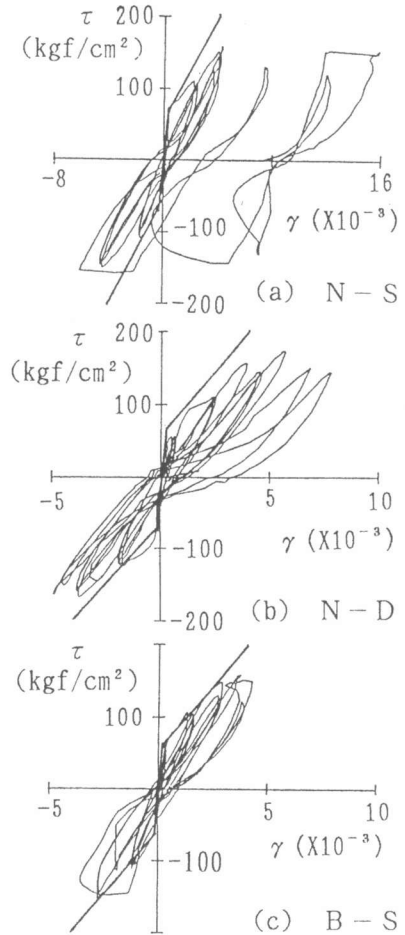


図-7 せん断応力-せん断ひずみ関係