

論文

[2078] 超高強度鉄筋コンクリート造内柱・梁接合部のせん断性能に関する実験的研究

正会員○柏崎隆志（千葉大学大学院）

正会員 野口 博（千葉大学建築学科）

1. はじめに

日本建築学会の『鉄筋コンクリート(RC)建物の終局強度型耐震設計指針(案)』[1](指針案)では、接合部に対する設計規定が新たに設けられ、従来に比べ合理的な接合部設計が行われるようになった。しかし、指針案はその適用範囲を普通強度材料としており、今後予想される超高層RC建物の需要増加や高強度材料を用いたRC(New RC)への対応について疑問点が多い。そこで、扱う材料強度の全域に渡って統一された、より合理的な接合部設計法の確立が望まれている。

2. 実験概要

2.1 実験計画

指針案の接合部設計では、1)接合部せん断応力度をコンクリート強度 σ_B の0.3倍以下に抑え、2)梁主筋付着指標 μ を12.5以下とする事が規定されている。しかし、最近のNew RC接合部の実験結果をみると、接合部せん断応力度の制限値が $0.3\sigma_B$ では、実験のせん断強度をかなり上回り、設計式としての適用は難しい[2][3][4]。又、付着指標 μ に関しても、従来に比べ配筋が厳しくなり、梁主筋の付着設計により接合部の設計が決まってしまう事も考えられる[5]。そこで、本研究は、普通強度から超高強度まで幅広く適用できる合理的な接合部設計法の開発に寄与する事を目的として行った。

表-1 試験体諸元と実験パラメータ

試験体名	OKJ-1	OKJ-2	OKJ-3	OKJ-4	OKJ-5	OKJ-6
梁	上端主筋	9-D13	10-D13	9-D13	10-D13	8-D13
	下端主筋	7-D13	10-D13	7-D13	10-D13	7-D13
スタップ	□ 2-D6@50 Pw=0.63(%)					
柱	主筋	20-D13	22-D13	20-D13	24-D13	20-D13
	7-7'	□ 2-D6@40 Pw=0.53(%)				
接合部	7-7'	4-D6×3t@50 Pw=0.54(%)				
	横補強法	外周部のみ □	外周部+中子筋 田	外周部のみ □		
コンクリートFc	800	1200	800			600
梁曲げ降伏時接合部せん断応力度 τ_{cr} (kgf/cm ²)	154.4	193.0	154.4	193.0	144.8	
	=5.5√Fc =0.19Fc	=5.6√Fc =0.16Fc	=5.5√Fc =0.19Fc	=6.8√Fc =0.24Fc	=5.9√Fc =0.24Fc	
梁主筋付着指標 μ	10.7	8.8	10.7			12.4
載荷方法	繰り返し	単調	繰り返し			

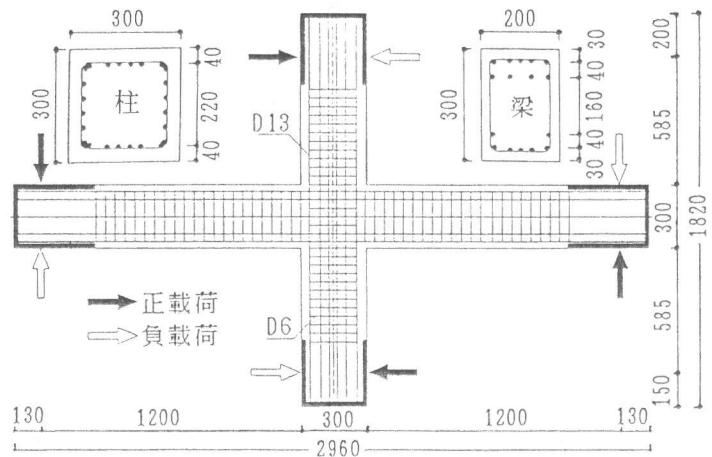


図-1 試験体配筋図 (OKJ-1)

表-2 材料特性

* : 0.2%off set強度

コンクリート Fc	圧縮強度 (kgf/cm ²)	強度時歪 (μ)	1/4Fc割線剛性 ($\times 10^6$ kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
600	546	2230	3.75	41.7
800	714	2960	3.58	43.4
1200	1091	2860	4.42	61.3
鉄筋	降伏応力度 (kgf/cm ²)	降伏時歪 (μ)	最大応力度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^6$ kgf/cm ²)
SD70 D13	*7320	*5870	7820	1.90
SD80 D6	*9740	*7340	11630	1.86

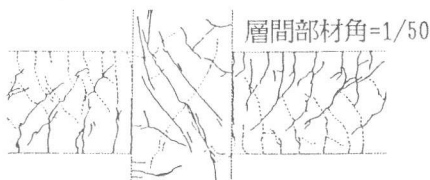


図-2 ひび割れ状況 (OKJ-1)

表-3 実験結果一覧

試験体	接合部せん断ひび割れ発生時					最大耐力時					破壊モード
	層せん断力 P _s (tonf)	層間変位 D _s (mm)	接合部せん断応力度 τ _p (kgf/cm ²)			層せん断力 P _s (tonf)	層間変位 D _s (mm)	接合部せん断応力度 τ _p (kgf/cm ²)			
			実験値 ¹⁾	計算値 ²⁾	1)/2)			実験値 ¹⁾	計算値 ²⁾	1)/3)	
OKJ-1	12.80	7.59	76.8	74.1	1.04	24.1	29.3	145.2	160.4	0.91	B・J
OKJ-2	8.65	3.85	52.1	74.1	0.70	24.0	45.6	144.4	160.4	0.90	J
OKJ-3	8.14	4.60	49.0	88.2	0.56	30.2	44.5	181.5	198.2	0.92	J
OKJ-4	10.30	6.94	61.8	74.1	0.83	25.5	44.8	153.4	160.4	0.96	B・J
OKJ-5	9.90	6.04	59.6	74.1	0.80	25.1	45.0	150.9	160.4	0.94	J
OKJ-6	6.92	6.71	41.7	61.7	0.68	22.2	44.5	133.7	140.2	0.95	J

1) $\tau_p = 2Q_p / (D_c \times (b_c + b_b))$ 、2) $\tau_p = Ft \sqrt{(1 + \sigma_o / Ft)}$ 、 $Ft = 1.6\sqrt{\sigma_B}$ 、3) $\tau_p = 6\sqrt{\sigma_B}$
 Q_p: 接合部せん断力 D_c: 柱せい b_c: 柱幅 b_b: 梁幅 σ_o: 柱軸応力度 σ_B: コンクリート圧縮強度

2.2 試験体と材料特性

試験体は、実大の約1/3スケールの平面十字型接合部6体である。試験体寸法は、階高は147cm、スパンは270cmで、柱、梁部材の断面は、各々30cm×30cm、20cm×30cmである。試験体諸元とパラメータを表-1、試験体の配筋図を図-1、材料特性を表-2に示す。主なパラメータは、コンクリート強度、梁主筋付着指標、接合部せん断入力レベル、載荷履歴、接合部横補強法である。

2.3 載荷システムと測定項目

加力は、柱頭に定軸力(σ_o≒0.12σ_B、σ_o: 柱軸応力度)を与えた後、南、北梁の端部に100tfアクチュエーターで行う。載荷履歴は、単調載荷のOKJ-2を除き、層間部材角R_s=1/200、1/100、1/50、1/33、1/25で正負2回の逆対称繰返し載荷を行い、最後に1/20の正加力を1回行う。又、主な測定項目は、①層間変位、②柱、梁曲げ変形、③接合部せん断変形角、④柱、梁主筋と接合部横補強筋のひずみ、⑤接合部パネルのコンクリート圧縮ストラットのひずみ等である。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図-2に典型的なひび割れ状況を示す。各試験体とも接合部パネルの斜めひび割れ及びそれから柱主筋に沿った割裂ひび割れが顕著である。表-3に実験結果一覧を示す。OKJ-1、4は、各々層間部材角R_s=1/50、1/33付近で梁曲げ降伏が生じ、その後同一サイクルで最大耐力に達した。接合部せん断変形角γ_pは、R_s=1/33でγ_p=20×10⁻³rad以上となり、接合部変形成分も層間変位の30%以上に達したので、梁曲げ降伏

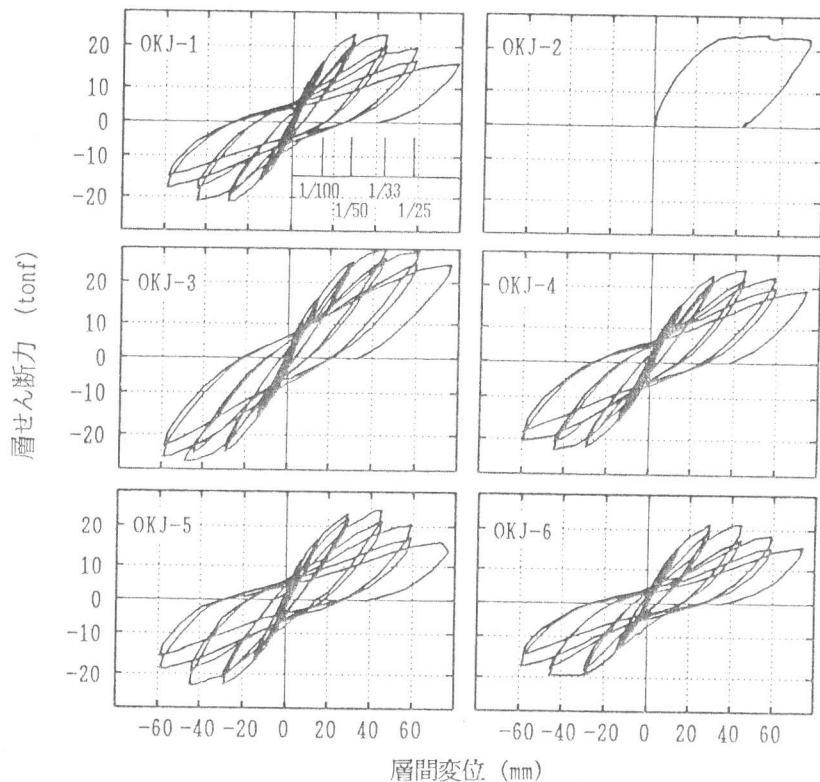


図-3 層せん断力-層間変位関係

後の接合部破壊型(B・J型)と判断する。他の試験体は、 $R_s=1/33$ で最大耐力に達し、耐力前に梁曲げ降伏が確認されず、接合部せん断変形が増大したので接合部破壊先行型(J型)と判断する。

3.2 履歴特性

3.2.1 層せん断力 P_s —層間変位 D_s 関係

図-3に層せん断力—層間変位関係を示す。ループ形状は、各試験体とも極端な逆S字化はみられず、良好な履歴特性を示している。B・J型のOKJ-1は、 $R_s=1/50$ で梁曲げ降伏が生じ、その後 $R_s=1/33$ の繰り返しで耐力低下している。又、単調載荷のOKJ-2は、 $R_s=1/20$ まで殆ど耐力低下せずに変形が進行している。更に、コンクリート圧縮強度の違いにより、OKJ-3、6が6体中でそれぞれ最大、最小の耐力を示した。接合部横補強筋に中子筋を用いたOKJ-4は、OKJ-1に比べ耐力改善はあまりみられないが、耐力時の層間部材角が $R_s=1/33$ に増大している。J型をねらったOKJ-5では、耐力上昇はOKJ-1に比べ約4%と小さかった。

3.2.2 接合部せん断応力度 τ_p —接合部せん断変形角 γ_p 関係

図-4に接合部せん断応力度—接合部せん断変形角関係を示す。各試験体の最大せん断応力度と指針案の接合部せん断

強度式 $\tau_{ju}=0.3\sigma_n$ を比較すると、OKJ-6では $0.24\sigma_n$ 、OKJ-1、2、4、5は $0.2\sigma_n$ 程度、OKJ-3は $0.17\sigma_n$ となり、コンクリート強度の上昇に伴い、指針案式の対応が悪くなっている。又、耐力時の接合部せん断変形角 γ_{pmax} は、高強度材料の使用によりせん断入力レベルが高くなるので、普通強度RCと比べて増大し、 $\gamma_{pmax}=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上となる。

3.3 鉄筋のひずみ

3.3.1 梁主筋のひずみ

図-5に各第1サイクルピーク時の接合部域梁主筋(上端1段筋)のひずみ分布を示す。各試験体とも $R_s=1/50$ の正加力までは、圧縮側鉄筋の引張転化現象はみられないが、OKJ-4、6は、 $R_s=+1/50$ で5000 μ 以上のひ

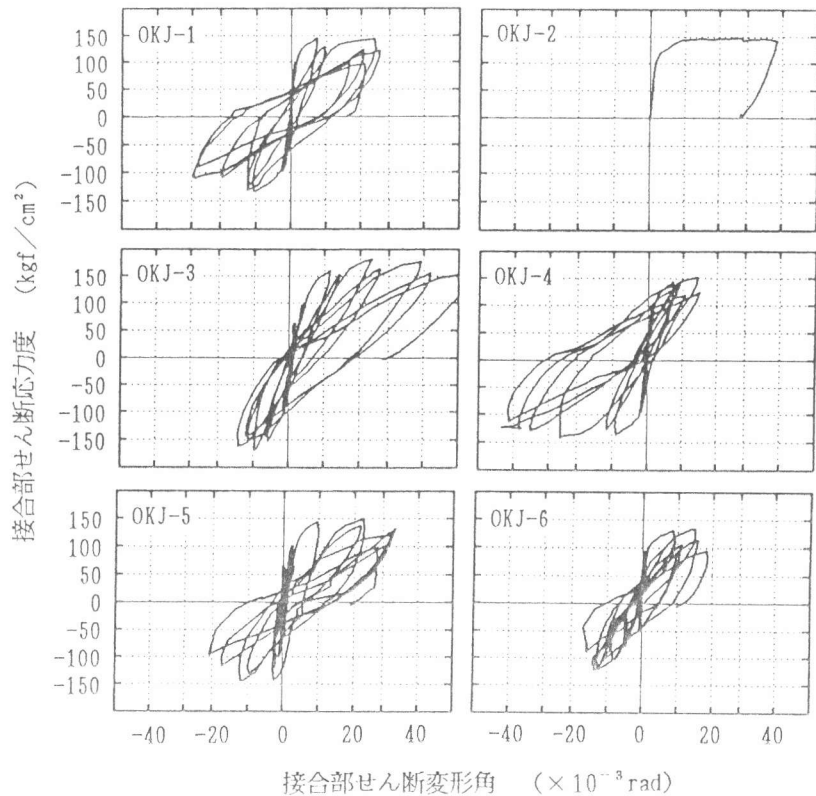


図-4 接合部せん断応力度—接合部せん断変形角関係

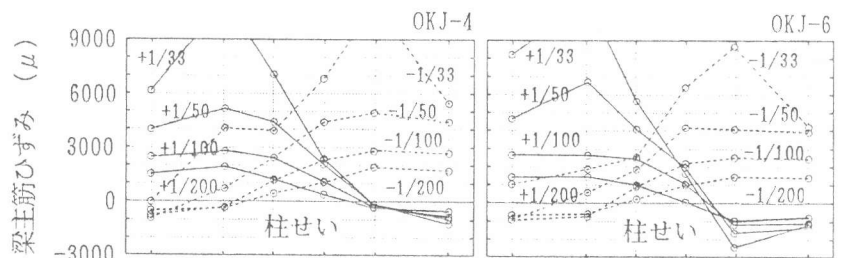


図-5 梁主筋ひずみ分布

ずみに達し、その後の負加力時に引張転化現象が生じている。

3.3.2 接合部横補強筋のひずみ

図-6に、接合部中央の横補強筋のひずみ状況を示す。加力方向のひずみは、 $R_s=1/50$ 以降でのゲージ②のひずみ増大が著しい。又、直交方向のひずみも、同様の傾向があり、 $R_s=1/50$ 以上から中子筋の効果が明確になると考えられる。

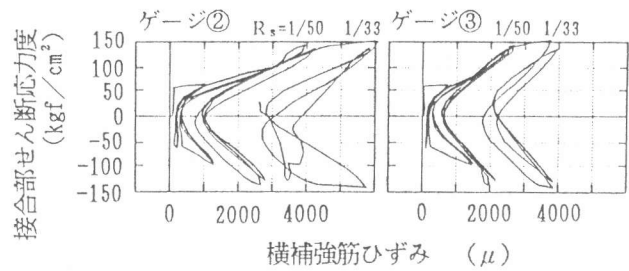
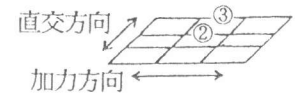


図-6 接合部横補強筋のひずみ (OKJ-4)

3.4 コンクリートのひずみ

図-7に接合部コンクリート圧縮ストラットのひずみ状況を示す。3.3.2で述べたように、 $R_s=1/50$ 以降から中子筋の使用によるコア・コンクリートの拘束効果が増大し、OKJ-4のストラットひずみが2500 μ 程度と小さく抑えられている。

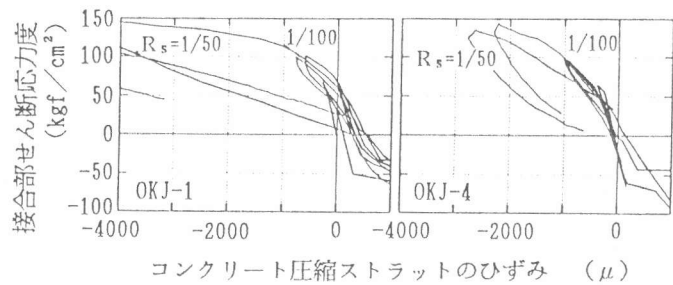


図-7 コンクリート圧縮ストラットのひずみ

4. 考察

単調載荷による耐力上昇は認められないが、繰返し載荷と比べて、最大耐力時の層間変位と接合部せん断変形は増大している。又、図-8の接合部せん断強度は、ほぼ $6\sqrt{\sigma_B}$ 上にあるが、やや頭打ちの傾向がみられる。 $R_s=1/50$ までは、接合部横補強筋に中子筋を用いても接合部せん断変形を抑制する効果はそれ程大きくないと思われる。

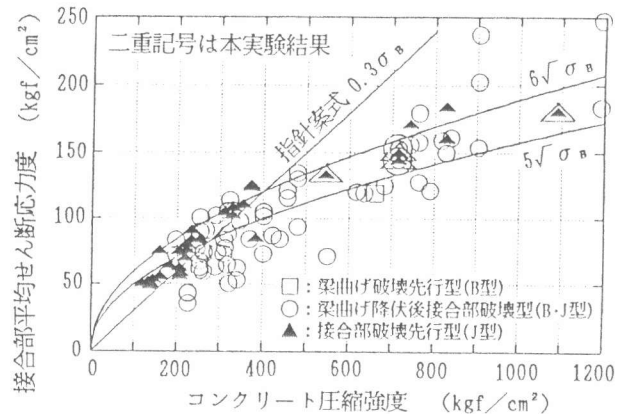


図-8 接合部平均せん断応力度-コンクリート圧縮強度関係

5. まとめ

普通強度から超高強度までを含めた接合部のせん断強度 τ_{j0} は、およそ $6\sqrt{\sigma_B}$ 上にあり、コンクリート圧縮強度の上昇に対して、せん断強度はそれ程上昇しない。また、付着指標 $\mu=12.5$ で $R_s=1/100$ までは、付着劣化を抑える事が可能であると認められた。

【謝辞】

本研究は、建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量化・超高層化技術の開発」の平成2年度分として実施されました。御協力頂いた関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

- [1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート建物の終局強度型耐震設計指針（案）・同解説、1988
- [2] 塩原等ほか：高強度鉄筋を主筋に用いた高強度鉄筋コンクリート造柱梁接合部の耐震設計法（その1）、（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造II、pp.459~462、1989
- [3] 木村秀樹ほか：高強度コンクリートを用いた柱・梁接合部の実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、11-2、pp.525~530、1989
- [4] 寺岡勝ほか：高強度コンクリートを用いたRC内柱・梁接合部の強度と変形性状、コンクリート工学年次論文報告集、12-2、pp.633~638、1990
- [5] 国土開発技術研究センター：平成元年度設計分科会報告書、1990
- [6] 国土開発技術研究センター：平成元年度構造性能分科会報告書、1990