

中高層RCプレキャスト工法の開発（柱梁接合部実験） Development of Middle-Rise Building Construction Method with Precast Reinforced Concrete Members (Experiments of Beam-Column Joint)

金川 基* Motoi Kanagawa	西浦 範昭* Noriaki Nishiura
塩川 真* Shin Shiokawa	飯塚 信一* Shin-ichi Iizuka
宮下 剛士* Takeshi Miyashita	笠松 照親** Teruchika Kasamatsu

要 約

本報は、中高層RC建物の架構式プレキャスト鉄筋コンクリート工法（以下PCaという）の開発を目的とした柱および梁部材で構成された接合部の静的加力実験結果の報告である。この工法の接合部を検討する場合、PCa部材の応力伝達、特に梁主筋の定着方法が重要である。そこで本報では、十字型接合部について、梁主筋量による接合部内の影響を検討し、ト字型接合部について、梁主筋の定着方法を支圧板もしくはU字型とした検討を行った。その結果、PCa部材の各種接合部に対して、耐力上問題なく応力伝達が行われることが確認された。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験概要
- § 3. 実験結果
- § 4. おわりに

§ 1. はじめに

近年、建築現場における熟練者の不足等の理由から、現場施工の簡素化や合理化を目的としたRC・PCa工法の需要が高まってきており、当社においても工法開発が進められてきている。PCa構造は、建築基準法第38条の特殊な構造に分類され、建設大臣の認定が必要となるため、試設計の設計断面より構造的に問題となる部分を取り上げて検討することが重要である。PCa構造の柱、梁に関しては、前報¹⁾にて報告を行った。PCa柱およびPCa梁にて構成される接合部を検討する場合、PCa部材の応力伝達、すなわち、柱への梁主筋の定着方法が問題となる。

*技術研究所原子力課

**技術研究所研究部

本報では、ト字型接合部においては、支圧板およびU字型定着を採用し、十字型接合部においては、接合部内の梁主筋量をパラメータとして中高層RC建物を想定したPCa接合部における加力実験について述べる。

§ 2. 実験概要

2-1 試験体

試験体は、実物大建物の約1/2スケールとした10階クラスの中高層RC建物の中柱、側柱接合部を想定しており、形状をそれぞれ十字型、ト字型としている。

表-1に試験体諸元を、図-1(a)、(b)に試験体の形状寸法および配筋の一例を示す。

(1) 十字型試験体

試験体は4体で、梁主筋を1段配筋としたものを基本形状とし、2段配筋としたものおよびコンクリートの設計基準強度 (F_c) をパラメータとした、J-1およびJ-2試験体は、コンクリートの設計基準強度を27MPa (270kgf/cm²) として、それぞれ、基本形状、梁主筋を2段配筋とした。J-3およびJ-4試験体は、コンクリートの設計基準強度を36MPa (360kgf/cm²) としており、それ

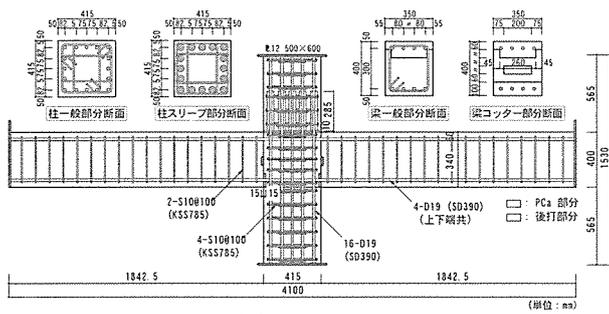


図-1 (a) 十字型試験体形状図

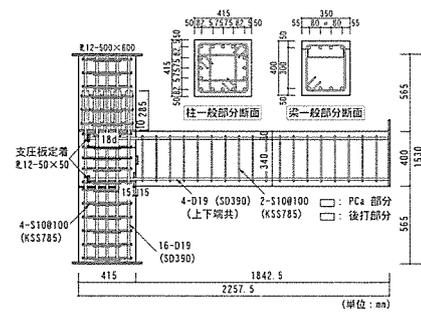


図-1 (b) T字型試験体形状図

ぞれ、基本形状、梁主筋を2段配筋とした。形状寸法は、全試験体共通で、スパン7,000mm、層高4,000mmの下層階接合部を対象に、約1/2スケールとした形状であり、柱部分はせん断スパンで1,000mm、断面で415×415mm、梁部分はせん断スパンで1,750mm、断面で350×400mmとした。これらは、いずれもPCa柱とハーフPCa梁部材によって構成され、接合部と梁上部のみを現場打ちコンクリートとしている。また、PCa柱部材の継手には無収縮グラウトモルタルを注入する市販のスリーブ式継手を使用した。継手はスラブ面とPCa柱脚部との間隔を10mmとし、敷きモルタルは使用せず柱主筋継手に用いるものと同じのグラウトモルタルを注入した。また、梁端部断面には、PCa梁部材の柱へのかかり(350×100×15mm)およびコッター(200×60×15mm)を設けた。

(2) T字型試験体

試験体は4体で、接合部内での梁主筋の定着方法と柱軸力のレベル ($\eta \cdot bD \sigma_B$, η :軸力比, b :柱幅, D :柱せい, σ_B :コンクリートの圧縮強度) をパラメータとした。J-5およびJ-6試験体は、梁主筋の定着に支圧板(50×50mm厚さ12mmの鉄板)を使用し、梁端部からの定着長さを15dおよび18dとした。J-7試験体は、接合部内の梁主筋をU字型(上端筋を折り返して下端筋とした形状)定着とした。J-8試験体は、J-7試験体と同形状で柱の軸力レベルを高くした。基本的な形状および継手については、十字型試験体と同様に、片側の梁のみとした。

2-2 使用材料

(1) コンクリート

コンクリートは、 F_c が27MPaおよび36MPaの2種類のコンクリートを試験体に供した。また、粗骨材は、最大寸法13mmの碎石を使用し、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。各コンクリートの材料特性を、表-2に示す。

(2) 鉄筋

主筋はすべてSD390のD19を使用し、柱部分では16-D19、梁部分では基本形状について4-D19、2段配筋について6-D19で配筋した。せん断補強筋はすべてKSS785の

表-1 試験体諸元

試験体	F_c	η	柱主筋	梁主筋	柱補強筋	梁補強筋
J-1	27	0.2	16-D19 (SD390)	4-D19	4-10@100 (KSS785)	2-S10@100 (KSS785)
J-2				6-D19		
J-3				4-D19		
J-4	6-D19					
J-5	36	0.1		4-D19 (SD390)		
J-6				4-D19 (SD390)		
J-7						
J-8				0.4		

表-2 コンクリートの材料特性

F_c	試験体	部位	圧縮応力度		弾性係数
			σ_B (MPa)	ϵ_B (μ)	E_c ($\times 10^4$ MPa)
27	J-1	PCa	32.0	2127	2.65
		後打	27.0	2181	2.36
	J-2	PCa	32.3	2361	2.58
		後打	27.4	2378	2.25
36	J-3	PCa	36.4	2393	2.72
		後打	36.6	2358	2.69
	J-4	PCa	36.0	2494	2.62
		後打	37.7	2595	2.64
	J-5	PCa	39.1	2295	2.83
		後打	44.3	2089	3.12
	J-6	PCa	38.1	2384	2.72
		後打	43.4	1988	3.01
	J-7	PCa	38.0	2177	2.83
		後打	42.8	1900	3.18
	J-8	PCa	37.5	2234	2.70
		後打	43.4	1923	3.11

表-3 鉄筋の材料特性

径	降伏強度		弾性係数	引張強度	伸び
	σ_y (MPa)	ϵ_y (μ)	E_s ($\times 10^4$ MPa)	σ_t (MPa)	(%)
D19	412.9	4274	1.82	613.6	21.3
S10 ¹⁾	993.1	6966	2.00	1076.2	9.7

[注] 1) は、0.2%offset

S10を使用し、柱部分では4-S@100、梁部分では2-S@100で配筋した。各鉄筋の引張試験結果を表-3に示す。

2-3 加力方法

図-2に加力装置の概要を示す。加力方法は、まず上下柱の反曲点位置でそれぞれピン、ローラ支持された試験体の上柱頂部に所定の軸力をかけた後、梁の反曲点位置で変位を制御しながら、正負繰返し载荷を行った。

図-3に加力スケジュールを示す。加力の制御は、すべて変位制御で、層間変形角 $R=2.5, 5, 10, 20, 30 \times 10^{-3} \text{rad}$ を各3回ずつ、 $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ を2回ずつ正負繰返した後、 $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$ の正負繰返し载荷を1回行った。

2-4 測定方法

測定については、まず、上下柱の反曲点位置でそれぞれピンローラ支持として取り付けた計測フレームから梁の全体変形、試験体のせん断変形などを測定し、さらに、梁の回転変形、曲率もそれぞれ測定した。また、柱、梁の主筋およびせん断補強筋についても、主要な箇所のみを測定した。

§ 3. 実験結果

3-1 破壊状況

図-4(a), (b)に十字型接合部、ト字型接合部の各試験体についての層間変形角 $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$ 終了時の最終破壊状況を示す。

(1) 十字型試験体

十字型試験体について見ると、はじめに梁の曲げひび割れが $R=2.5 \times 10^{-3} \text{rad}$ のサイクル時に梁端部から発生し、次に梁のせん断ひび割れが $R=5 \times 10^{-3} \text{rad}$ のサイクル時に梁端部から1D (D: 梁せい=400mm) 付近に発生した。接合部のせん断ひび割れは $R=5 \times 10^{-3} \text{rad}$ サイクルピーク時に接合部の中央付近から発生した。柱のひび割れについては、曲げひび割れが $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ のサイクル時に接合部との接合面で発生した。また、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ のサイクルピーク時に最大荷重となり、その後、梁の水平打継ぎ部に沿ったひび割れとせん断ひび割れが多数発生した。梁主筋を1段筋としたJ-1およびJ-3試験体では、梁端部のコンクリートの圧壊剥離が見られたのに対し、梁主筋を2段筋としたJ-2およびJ-4試験体では、梁端部のコンクリートの圧壊剥離に加えて接合部のせん断ひび割れが多数発生し、最終的には、接合部のかぶりコンクリートの剥離が顕著に見られた。

(2) ト字型試験体

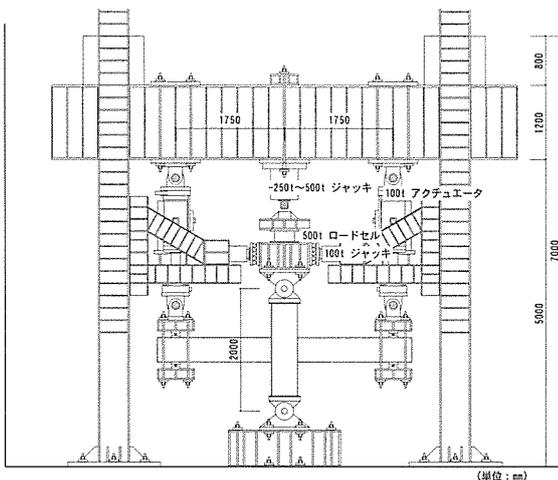


図-2 加力装置の概要

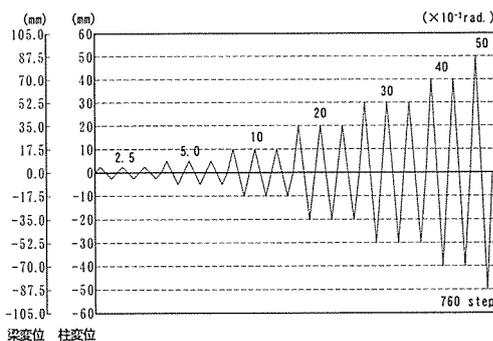


図-3 加力スケジュール

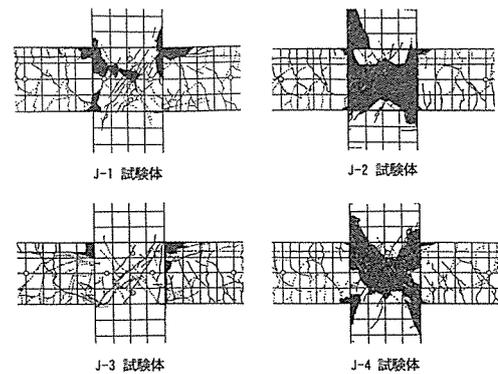


図-4 (a) 十字型試験体の最終破壊状況

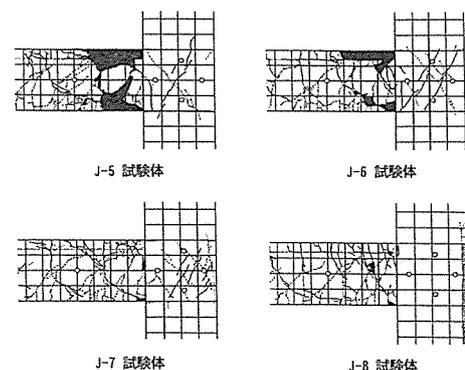


図-4 (b) ト字型試験体の最終破壊状況

ト字型試験体について見ると、はじめに、梁の曲げひび割れが $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad.のサイクル時に梁端部から発生し、次に梁のせん断ひび割れが $R=5 \times 10^{-3}$ rad.のサイクル時に、梁端部から1D付近に発生した。接合部のせん断ひび割れは、J-5~7試験体で $R=10 \times 10^{-3}$ rad.サイクルピーク時に接合部の中央付近から発生した。柱のひび割れについては、曲げひび割れがJ-5~7試験体で $R=20 \times 10^{-3}$ rad.のサイクル時に接合部との接合面で発生した。軸力比 η の大きいJ-8試験体については、接合部せん断ひび割れ、柱のひび割れと共に発生しなかった。また、J-5~8の各試験体共に実験最終層間変形角 $R=50 \times 10^{-3}$ rad.時に最大荷重となった。その後、梁の水平打継ぎ部に沿ったひび割れとせん断ひび割れが多数発生した後、梁端部でのコンクリートの圧壊および剥離が見られた。ト字型試験体に関して破壊状況から梁主筋の定着方法の違いは見られなかった。

3-2 荷重-層間変形角関係

図-5 (a), (b) に各試験体の荷重-層間変形角関係を示す。また、表-4 (a), (b) に実験値と計算値^{2), 3)}の比較を示す。

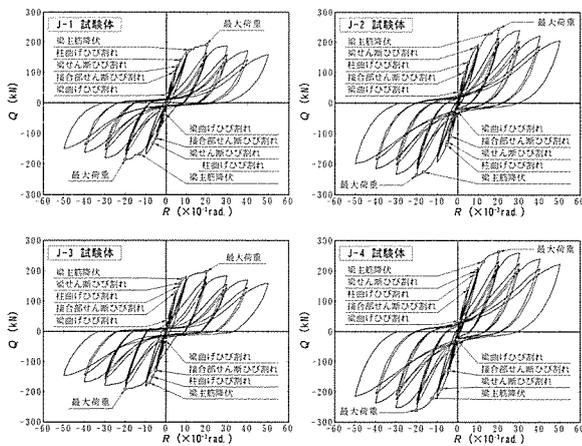


図-5 (a) 十字型試験体の荷重-層間変形角関係

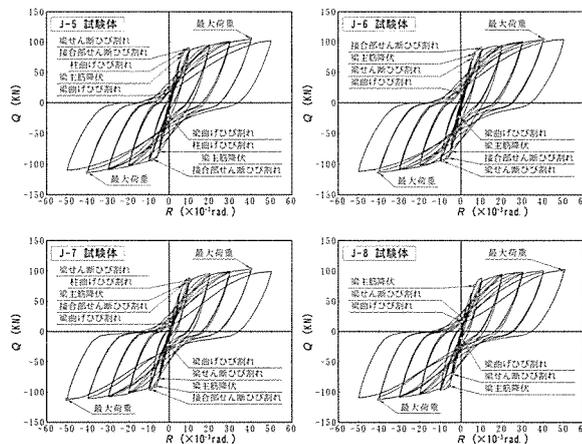


図-5 (b) ト字型試験体の荷重-層間変形角関係

(1) 十字型試験体

図-5 (a) より、各試験体とも $R=20 \times 10^{-3}$ rad.時まで耐力を維持し、その後、耐力低下は見られるが、最大耐力に対する $R=50 \times 10^{-3}$ rad.時の耐力の割合は、J-1, 2, 3, 4試験体の順番で、83, 84, 81, 85%であり、梁主筋を1段筋とした試験体が、梁主筋を2段筋とした試験体よりも、耐力低下が大きい傾向を見せた。しかしながら、いずれも80%を上回る値で、大変形時においても靱性を富んだ性能を有することが確認できた。

(2) ト字型試験体

図-5 (b) より、各試験体とも $R=50 \times 10^{-3}$ rad.時まで耐力を維持し、耐力低下はほとんど見られる事なく粘り強い安定したループを描いている。最大耐力はどの試験体も120 kN前後であり、梁主筋の定着方法の違いおよび、軸力のレベルによる違いはほとんど見られなかった。

また、表-4 (a), (b) より、十字型試験体に関して、曲げひび割れは、計算値に比べ若干早期に発現しているがほぼ一致している。実験結果の梁主筋降伏と計算値を比較すると、ほぼ計算値通りとなった。また、ト字

表-4 (a) 十字型試験体の実験値と計算値の比較

名称	梁曲げひび割れ ⁽¹⁾			接合部せん断ひび割れ ⁽²⁾		
	実験	計算	実計	実験	計算	実計
J-1	3.4	4.0	0.85	11.8	19.4	0.68
J-2	3.8	4.2	0.90	11.1	19.6	0.57
J-3	3.8	4.2	0.90	13.2	22.6	0.58
J-4	3.7	4.4	0.84	14.4	22.6	0.64

名称	梁主筋降伏 ⁽³⁾			最大荷重 ⁽⁴⁾		
	実験	計算	実計	実験	計算	実計
J-1	17.0	16.5	1.03	19.5	17.3	1.13
J-2	23.3	24.7	0.94	24.9	24.7	1.01
J-3	17.3	16.5	1.05	20.1	17.3	1.16
J-4	23.5	24.7	0.95	26.8	24.7	1.09

表-4 (b) ト字型試験体の実験値と計算値の比較

名称	梁曲げひび割れ ⁽¹⁾			接合部せん断ひび割れ ⁽²⁾		
	実験	計算	実計	実験	計算	実計
J-5	1.5	2.2	0.68	9.4	19.7	0.48
J-6	1.6	2.2	0.73	9.1	19.4	0.47
J-7	2.2	2.2	1.00	9.7	19.3	0.50
J-8	1.7	2.2	0.77	-	31.5	-

名称	梁主筋降伏 ⁽³⁾			最大荷重 ⁽⁴⁾		
	実験	計算	実計	実験	計算	実計
J-5	8.1	8.2	0.99	10.7	8.6	1.24
J-6	8.1	8.2	0.99	10.6	8.6	1.23
J-7	8.0	8.2	0.98	10.5	8.6	1.22
J-8	7.7	8.2	0.94	10.3	8.6	1.20

[注] 単位は、Q: kNで、層せん断力に換算したものである。

(1) $M_{cr} = 1.8 \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot Z_c$ (2) $\tau_p = F_t \cdot \sqrt{(1 + \sigma_0 / F_t)}$

(3) $M_y = g_1 \cdot q \cdot \sigma_B \cdot b \cdot D^2$ (4) $M_u = 0.9 \cdot \sum a_i \cdot \sigma_y \cdot d$

型試験体に関して、曲げひび割れは、計算値に比べ若干早期に発現している。接合部せん断ひび割れに関しては、計算値の約50%にて発生した。実験結果の最大耐力と計算値の梁の曲げ終局強度を比較すると、実験値は計算値の約1.2倍となった。

3-3 曲率分布

曲率(ϕ)は、梁部分に関して、接合部から30mm, 200mm, 400mmの区間にて計測した。各試験体の最大層間変形角に対する曲率分布を図-6 (a), (b) に示す。

(1) 十字型試験体

図-6 (a) より、ほぼ接合部側の梁端部に曲げ変形が集中していることがわかる。また、J-1およびJ-3試験体は、 $\phi = 8 \times 10^{-4}/\text{mm}$ を越えているのに対し、梁主筋を2段筋としたJ-2およびJ-4試験体は、およそ $\phi = 8 \times 10^{-4}/\text{mm}$ となり梁を強くしたことによる影響が見られる。

(2) ト字型試験体

図-6 (b) より、ほぼ接合部側の梁端部に曲げ変形が集中していることがわかる。また、全試験体に対して、曲率計測区間にてほぼ同様の挙動を示しており、梁主筋の定着方法による曲げ変形の違いは見られなかった。

3-4 主筋ひずみ分布

各試験体の柱および梁主筋ひずみ分布を図-7 (a),

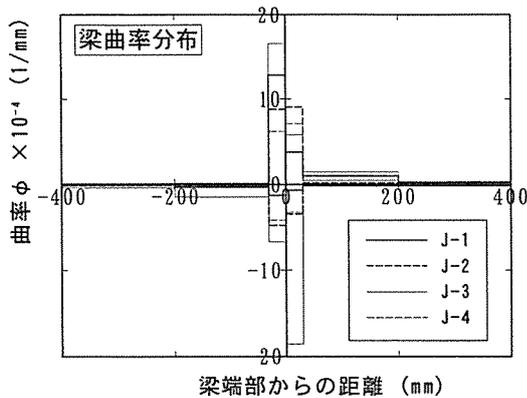


図-6 (a) 十字型試験体の曲率分布

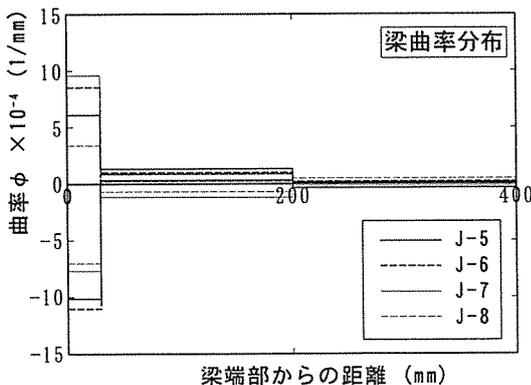


図-6 (b) ト字型試験体の曲率分布

(b) および図-8 に示す。

(1) 十字型試験体

柱主筋のひずみに関して、J-1およびJ-3試験体は、梁主筋を2段筋としたJ-2およびJ-4試験体よりひずみが小さくなっている。また、各試験体共に柱主筋の降伏は発生しなかった。

梁主筋のひずみに関して、J-3試験体は、 $R=10 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に、また、J-1, 2およびJ-4試験体は、 $R=20 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に正負加力とも梁端部および接合部内梁端付近にて引張側の梁主筋が降伏した。また、梁2段筋は、上端筋、下端筋ほぼ同時に降伏した。

(2) ト字型試験体

柱主筋のひずみに関して、軸力比を大きくしたJ-6試験体は、軸力の影響によりひずみが圧縮側に移行しているが、他の試験体とほぼ同様の傾向を示している。また、各試験体とも、柱主筋の降伏は発生しなかった。

梁主筋のひずみに関して、全試験体とも $R=10 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に正負加力とも梁端部および接合部内梁端付近にて引張側の梁主筋が降伏した。また、梁主筋の定着方法によるひずみ分布の違いは見られなかった。

3-5 接合部せん断力入力比-靱性率関係

図-9 に接合部せん断力入力比-靱性率関係を示す。ここで、縦軸は接合部に入力されたせん断力を $bD\sigma_B$ で無次元化した入力比を示し、横軸は最大荷重が85%に低

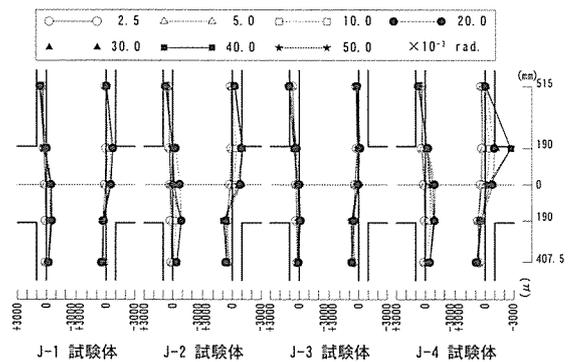


図-7 (a) 十字型試験体の柱主筋ひずみ分布

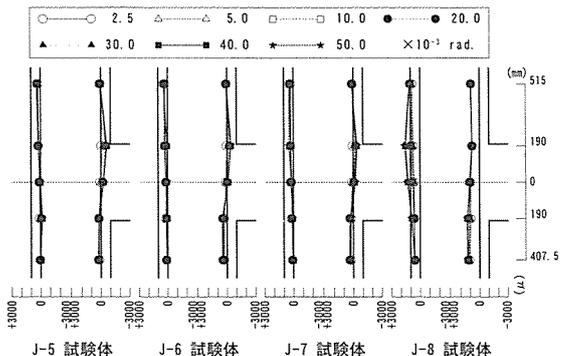


図-7 (b) ト字型試験体の柱主筋ひずみ分布

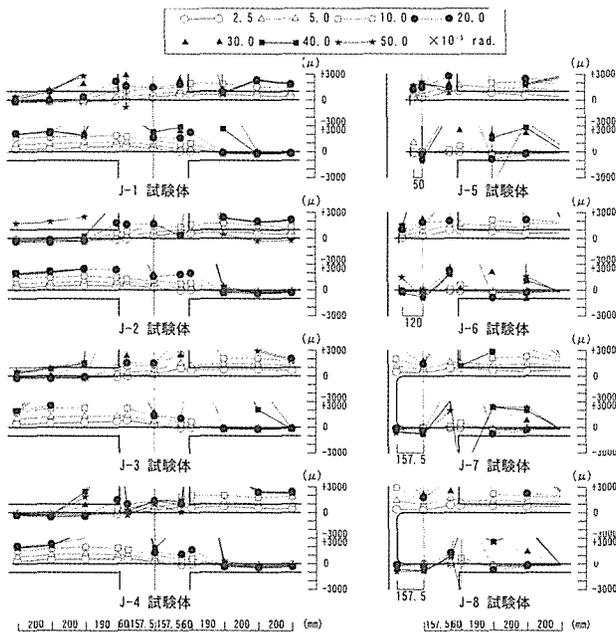


図-8 梁主筋ひずみ分布

下した時の変形を梁主筋降伏時変形で除した靱性率 (μ) を示す。

(1) 十字型試験体

せん断力入力比が0.1~0.4程度の範囲内では（靱性率の範囲：2~6）、靱性率と明らかな線形関係が認められ、各試験体の靱性率は一段配筋時に4~5程度、2段配筋時に3~4程度である。このように τ_u / τ_c が0.6程度の付着劣化が生じる試験体の場合でも、その復元力特性は最大耐力後の急激な耐力低下はなく、良好な靱性能を維持できるものと考えられる。

(2) ト字型試験体

実験サイクルの範囲内では、どの試験体においても最大耐力とほぼ同等となったため、図には、最終層間変形角時に対する靱性率を示している。この図より言えることは、接合部内の梁主筋に支圧板を使用したJ-5およびJ-6試験体は、U字型としたJ-7およびJ-8試験体より多少靱性率が大きくなる傾向を示した。

§ 4. おわりに

本報で得られた結果を以下に示す。

(1) 荷重-層間変形角関係から、本研究にて開発した、十字型およびト字型PCa接合部は、共に大変形時においても靱性に富んだ性能を有することが確認された。また、ト字型接合部における接合部内梁主筋の定着方法の違いおよび軸力のレベルによる違いは見られなかった。

(2) 梁の曲率分布に関して、全試験体でほぼ梁端部に曲

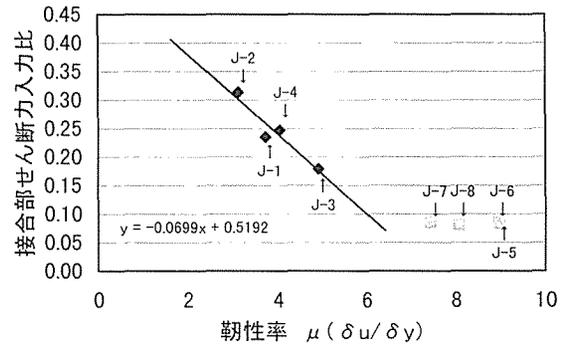


図-9 接合部せん断力入力比-靱性率関係

げ変形が集中していることがわかる。十字型試験体では、梁2段筋とした試験体は、梁を強くしたことによる影響が見られる。またト字型試験体では、曲率計測区間にてほぼ同様の挙動を示しており、梁主筋の定着方法による曲げ変形の違いは見られなかった。

(3) 主筋のひずみ分布に関して、全試験体共に柱主筋の主筋降伏は発生しなかった。梁主筋のひずみは、十字型試験体について、J-3試験体で、 $R=10 \times 10^{-3}$ rad.時に、J-1, 2およびJ-4試験体で、 $R=20 \times 10^{-3}$ rad.時に正負加力とも梁端部および接合部内梁端付近にて引張側の梁主筋が降伏した。梁2段筋は、上下端筋共にほぼ同時に降伏した。また、ト字型試験体について、全試験体共に $R=10 \times 10^{-3}$ rad.時に正負加力とも梁端部および接合部内梁端付近にて引張側の梁主筋が降伏した。しかしながら、梁主筋の定着方法によるひずみ分布の違いは見られなかった。

(4) 接合部せん断力入力比-靱性率関係より十字型試験体に関して、せん断力入力比が0.1~0.4の範囲内では靱性率と線形関係が認められ、靱性率は1段配筋時に4~5程度、2段配筋時に3~4程度である。このように τ_u / τ_c が0.6程度で付着劣化が生じる試験体でも、復元力特性は最大耐力後の急激な耐力低下はなく、良好な靱性能を維持できると考えられる。

参考文献

- 1) 金川 基他：中高層RCプレキャスト工法の開発（柱、梁部材実験），西松建設技報，Vol.21,pp.17-24,1998.
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説,pp.645,1988.
- 3) 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基準・同解説,pp.340,1990.
- 4) 塩川 真他：中高層RCプレキャストコンクリート工法の開発（その1 ト字形接合部実験），（その2 十字形接合部実験），（その3 十字形接合部実験結果の考察），日本建築学会大会学術講演梗概集C-2,pp.551-552,pp.573-576,1998.