

中高層RCプレキャスト工法の開発（柱，梁部材実験）

Development of Middle-Rise Building Construction Method with Precast Reinforced Concrete Members (Experiment on Column and Beam Members)

金川 基*
Motoi Kanagawa

笠松 照親**
Teruchika Kasamatsu

飯塚 信一*
Shin-ichi Iizuka

塩川 真*
Shin Shiokawa

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の開発を目的とした柱および梁部材の曲げせん断実験結果の報告である。各部材実験では、9階および11階建てのPCa構造物を試設計し、その断面をスケールダウンした。柱部材の構造としては、柱脚部にモルタル充填式スリーブ継手を適用し、梁部材の構造としては、断面がU形状となるハーフPCa梁を適用した。それぞれ実験を行い、各種検討した結果、顕著な不備は見られなかった。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 柱部材実験
- § 3. 梁部材実験
- § 4. おわりに

§ 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリートの品質向上、施工の省力化、合理化および短工期化を図る目的から構造体コンクリート部材をあらかじめ工場にて製作する架構式プレキャスト鉄筋コンクリート（以下、PCaと称す）工法の開発が盛

んに行われている。柱部材をPCa化する場合、主筋の継手位置を柱脚とする場合が多く、その部分での性能確認が必要となる。また、梁部材をPCa化する場合、柱への梁主筋の定着方法が問題となり、その部分に関する性能確認が必要となる。本報では、前述したようなPCa化に関する柱および梁部材の性能を確認するために行ったそれぞれの曲げせん断実験の結果について報告する。

§ 2. 柱部材実験

2-1 実験概要

(1) 試験体

試験体は、中高層RC建物の下層柱を想定しており、実大柱の約1/2.4スケールとしている。また、試験体上下には、試験体固定用のスタブを設けている。試験体の形状

* 技術研究所原子力課

** 技術研究所研究部

寸法は、断面寸法が各試験体共通で415×415mm、内法スパン長さ H が1770, 1680, 1230, 1790mmの4種類とした。試験体数は、コンクリートの設計基準強度 F_c 、主筋径、補強筋ピッチ、せん断スパン比 a/D （ a ：柱の反曲点高さ、 D ：柱せい）、軸力比 η （ $=N/(B \cdot D \cdot F_c)$ 、 N ：軸力、 B ：柱幅）を変化させた場合の合計4試験体である。試験体諸元を表-1に、試験体の形状寸法および配筋の一例を図-1に示す。

試験体に使用したコンクリートの F_c は、C-1～3試験体の場合、35.3MPa（360kgf/cm²）であり、C-4の場合、29.4MPa（300kgf/cm²）である。また、主筋は、全試験体共通で鉄筋強度SD390を使用し、C-1,2,4の場合、12-D19で配筋し、C-3の場合、12-D16で配筋した。せん断補強筋は、全試験体共通で鉄筋強度KSS785を使用し、C-1～3の場合、4-S10@90で配筋し、C-4の場合、4-S10@95で配筋した。軸力比 η は、C-2の場合、 $\eta=0.4$ とし、C-3の場合、 $\eta=0.2$ とし、C-4の場合、 $\eta=0.3$ とした。また、C-1は、図-2に示すような $\eta=-0.05 \sim 0.3$ の範囲の変動軸力とした。 a/D については、C-1の場合、 $a/D=2.13$ とし、C-2の場合、 $a/D=2.02$ とし、C-3の場合、 $a/D=1.48$ とし、C-4の場合、 $a/D=2.16$ とした。また、試験体の構造種類は全てPCa構造とした。

試験体の製作方法は、実際の施工方法を模擬し、はじめに柱脚にスリーブ継手を有するPCa柱部分を製作し、

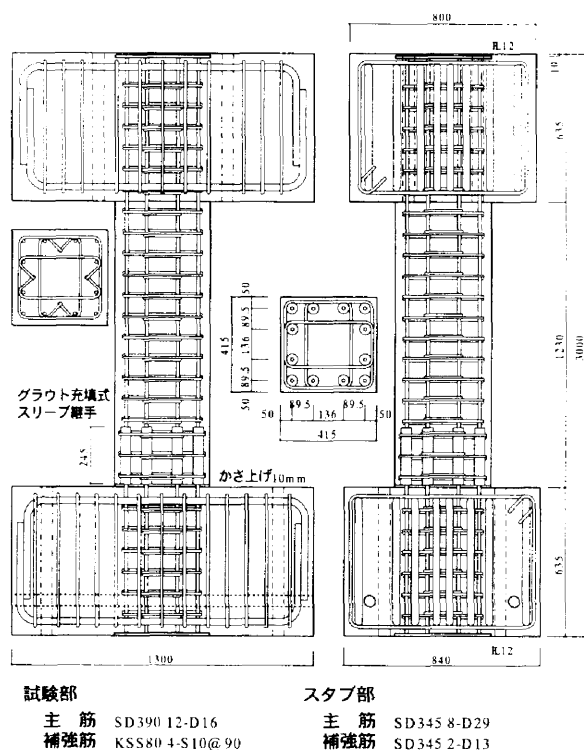


図-1 試験体の形状寸法および配筋の一例

次いでPCa柱部分を10mmかさ上げして下スタブに設置後グラウトモルタルを注入し、最後に上スタブを打ち継いだ。柱の継手は、市販のグラウト充填式スリーブ継手を使用した。柱と下スタブの接合面は、敷きモルタルを使用せず、鉄筋継手に用いるものと同一のものを使用した。このグラウトモルタルの圧縮強度は、材令37～87日で111.2MPa（1,134kgf/cm²）であった。

(2) 使用材料

①コンクリート

柱実験で使用したコンクリートは、 F_c が35.3MPa（360kgf/cm²）、29.4MPa（300kgf/cm²）の2種類のコンクリートである。粗骨材は最大寸法13mmの砕石を使用し、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。試験体に使用したコンクリートの材料試験結果を表-2に示す。

②鉄筋

柱実験で使用した鉄筋は、主筋には異形棒鋼SD390のD19およびD16の2種類を用い、せん断補強筋には凹型異形棒KSS785のS10を用いた。鉄筋の引張試験結果を表-3に示す。

表-1 試験体諸元

試験体名	F_c	軸力比	種類	主筋	補強筋	a/D
C-1	360	変動	PCa	12-D19	4-S10@90	2.13
C-2		0.4				2.02
C-3		0.2		12-D16		1.48
C-4	300	0.3		12-D19	4-S10@95	2.16

* 主筋および補強筋の強度は、それぞれSD390およびKSS785である。

表-2 コンクリートの材料特性

F_c	試験体名	部位	圧縮応力度		弾性係数 E_c ($\times 10^4$ MPa)	引張強度 σ_t (MPa)
			σ_B (MPa)	ϵ_B (μ)		
360	C-1	PCa	41.2	2122	2.85	3.62
	C-2		40.6	1966	2.91	3.59
	C-3		49.7	2302	3.11	3.97
300	C-4		39.1	2308	2.83	3.52

* 表中の数値は平均値

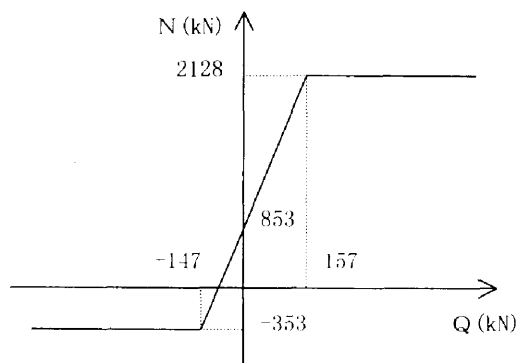


図-2 変動軸力の加力方法

(3) 加力装置および測定方法

加力装置の概要を図-3に示す。加力方法は、各試験体に所定の軸力を与え、柱頭のL型加力梁を用いて、試験体の中央部が反曲点となるような逆対称加力とした。加力スケジュールを図-4に示す。加力の制御は、部材角 R ($=\delta/H$, δ :柱上端部での水平変位)によって行い、 $R=1.25\times10^{-3}$, 2.5×10^{-3} rad.を正負各1回、 $R=5\times10^{-3}$, 10×10^{-3} , 20×10^{-3} , 30×10^{-3} rad.を正負各3回ずつ行った後、 $R=50\times10^{-3}$ rad.を正負各1回の繰り返し加力を行った。計測は、部材の加力点位置における全体変形、柱の曲げ変形、柱端部のズレ変形を計測した。

2-2 実験結果

(1) 破壊状況

各試験体の最終ひび割れ状況を図-5に示す。初期曲げひび割れは、部材角 $R=2.5\times10^{-3}$ rad.時にC-1,2,4の柱端部に発生した。また、軸力比 η の小さいC-3試験体は、 $R=1.25\times10^{-3}$ rad.時に発生した。変動軸力としたC-1の負加力側については、引張軸力がかかるため、正加力時に比べて部材角が小さい $R=1.25\times10^{-3}$ rad.時にコンクリートの曲げひび割れが発生している。せん断ひび割れは、 $R=5\times10^{-3}$ rad.時にC-1,2,4試験体

において発生した。 η の小さいC-3および変動軸力としたC-1の負加力側については、他の試験体より早い $R=2.5\times10^{-3}$ rad.時に発生した。また、 η が大きいC-2では、 $R=10\times10^{-3}$ rad.時に柱主筋の2段筋位置に沿って、細かい斜めのひび割れが多数発生した。

主筋の降伏は、全試験体において $R=10\times10^{-3}$ rad.時に発生した。変動軸力としたC-1の負加力側については、 $R=5\times10^{-3}$ rad.時に発生した。

(2) 荷重-変形関係

各試験体の荷重-変形関係を図-6に示す。また、実験値と計算値（既往の算定式¹⁾による）の比較を図-7に示す。図-6より、全試験体とも、部材角 $R=20\times10^{-3}$ rad.まで耐力を維持していることがわかる。その後耐力低下は見られるものの、C-1,4に関しては最終部材角まで、C-2に関しては $R=30\times10^{-3}$ rad.まで、それぞれ安定したループを描いている。C-1,4については、 $P-\delta$ 効果を考慮すると最大荷重に対する最終サイクル時の荷重の比より、ほぼ最大荷重を維持しており、 $R=50\times10^{-3}$ rad.においても靱性に富んだ性能を有していること

表-3 鉄筋の材料特性

鉄筋径	種別	降伏強度		弾性係数 Es ($\times 10^5$ MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	伸び (%)
		σ_y (MPa)	ϵ_y (μ)			
D16	SD390	405.4	2553	1.83	618.6	21.9
D19	SD390	407.9	2346	1.87	640.5	23.5
S10	KSS785	945.5	6642	2.04	1022.6	10.7

* 表中の数値は平均値

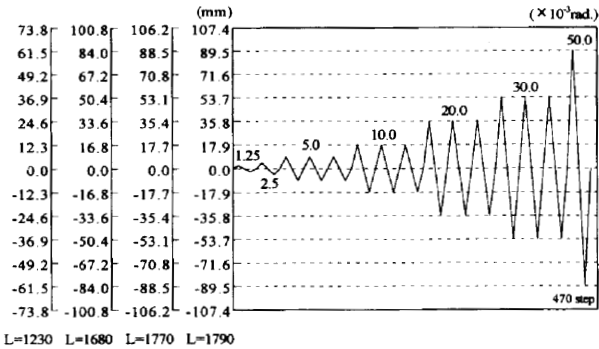


図-4 加力スケジュール

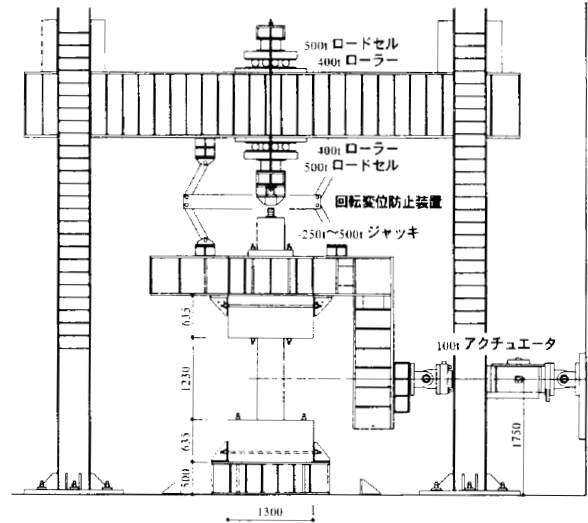


図-3 加力装置の概要

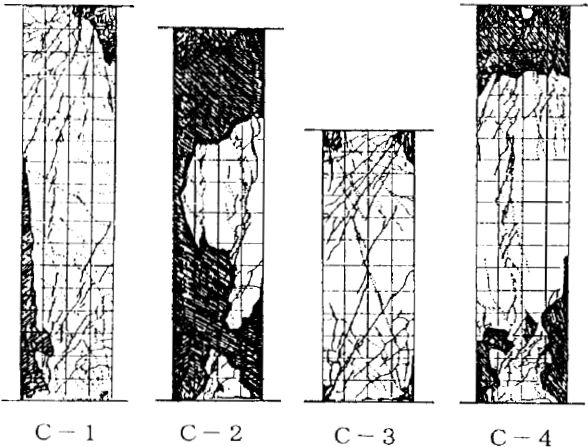


図-5 各試験体の最終ひび割れ状況

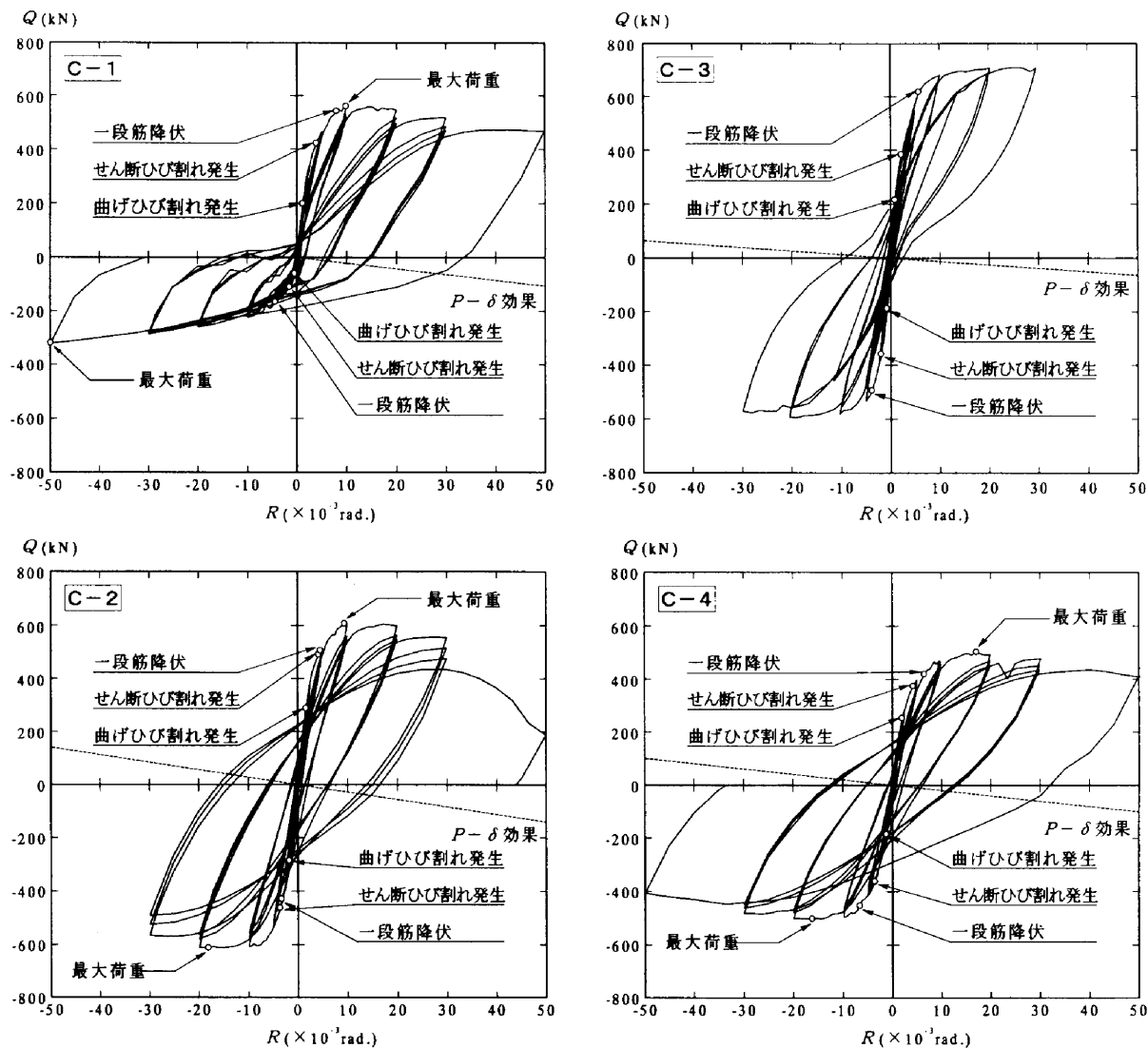


図-6 荷重-変形関係

がわかる。また、C-1の負加力側は、正加力時に比べ耐力が約1/3位であったが、最終部材角まで耐力が増加している。

(3) 等価粘性減衰定数

各試験体の履歴曲線より求めた等価粘性減衰定数 h_{eq} の各サイクルによる変化を図-8に示す。各試験体とも $R=20 \times 10^{-3} \text{rad.}$ までは大きな差は見られなかった。それ以降についても各試験体の違いによる傾向は見られなかった。

(4) 曲率分布

各試験体の各加力サイクルピーク時における曲率分布を図-9に示す。各試験体とも柱部材端部に曲げ変形が集中している。また、柱頭に比べて柱脚ではスリーブ位置での曲率が比較的小さくなっており剛体のような挙動を示している。

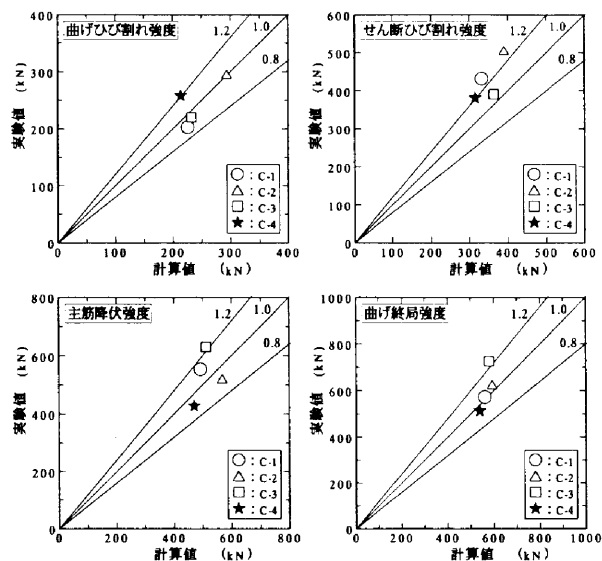


図-7 実験値と計算値の比較

(5) 打ち継ぎ部における挙動

各試験体のすべり変形量比 (全体変形に対するすべり変形の比) と部材角 R との関係を図-10に示す。各試験体に関して、柱頭部は加力直後よりすべり変形量比が大きな値となって、その後減少していくのに対し、柱脚部は $R=5 \times 10^{-3} \text{ rad.}$ まですべり変形量比が徐々に増加し、その後減少していく傾向がある。しかし、C-1の負加力時に関しては、柱頭部、柱脚部共に部材角の増加につれてすべり変形量比が増加していく事がわかる。

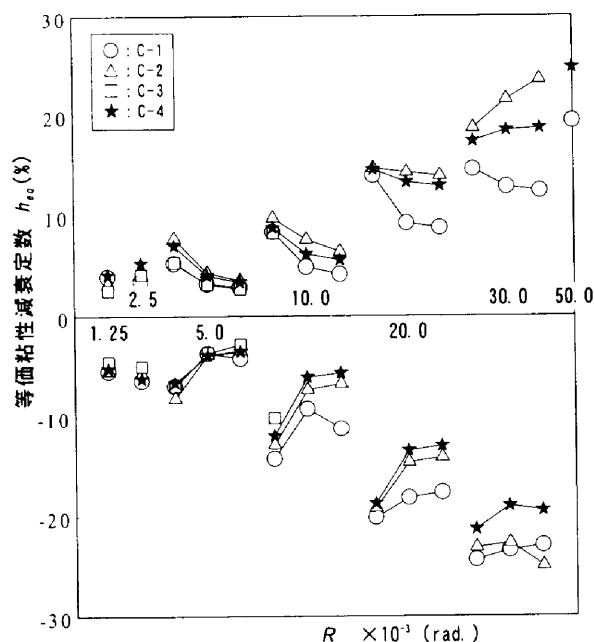


図-8 部材角の変化に伴う等価粘性減衰定数の推移

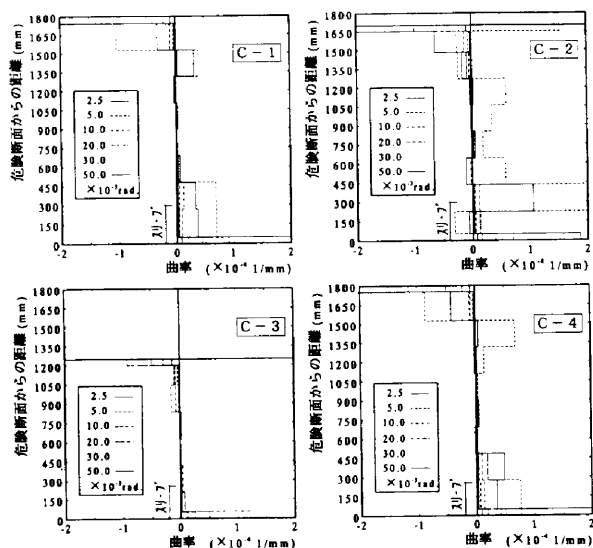


図-9 曲率分布

§ 3. 梁部材実験

3-1 実験概要

(1) 試験体

試験体は、中高層RC建物の下層梁を想定しており、実大スラブ付き梁の約1/2.6スケールとしている。また、試験体端部には、試験体加力用のスタブを設けている。試験体の形状寸法は、梁断面寸法が $350 \times 390 \text{ mm}$ および $350 \times 370 \text{ mm}$ 、スラブ断面寸法が $700 \times 58 \text{ mm}$ 、内法スパン長さ H が 1560 mm および 1480 mm とした。試験体数は、 F_c 、補強筋ピッチを変化させた場合の合計2試験体である。試験体諸元を表-4に試験体の形状寸法および配筋の一例を図-11に示す。

試験体に使用したコンクリートの F_c は、B-1試験体の場合、 35.3 MPa (360 kgf/cm^2) であり、B-2の場合、 29.4 MPa (300 kgf/cm^2) である。主筋は2試験体共通で鉄筋強度SD390を使用し、梁上端では6-D19、梁下端では4-D19で配筋した。また、梁主筋の定着長であるが、2試験体共通で $35d$ の90度折り曲げ定着とした。せん断補強筋は2試験体共通で鉄筋強度SPR785を使用し、B-1の場合、2-T10@95で配筋し、B-2の場合、4-T10@75で配筋した。せん断スパン比 a/D (a : 梁の反曲点高さ、 D : 梁せい) については、2試験体共通で $a/D=2.0$ とした。梁端部の鉛直打ち継ぎ部については、2試験体共通でコッターおよびかきりを施した。また、試験体の構造種類は

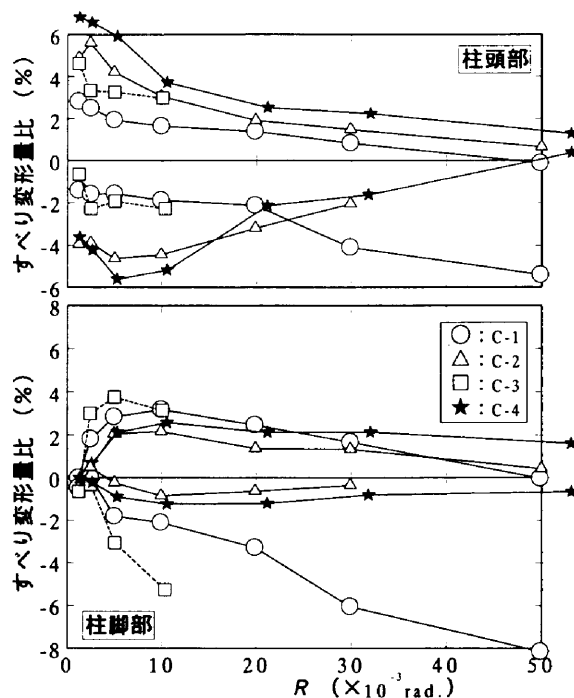


図-10 部材角とすべり変形量比の関係

PCa構造とした。試験体の製作方法は、まず、梁下端筋および補強筋を含むスラブ下面位置までのU型断面ハーフPCa梁部分を製作し、次いで後打ちコンクリートを打設した。

(2) 使用材料

①コンクリート

梁実験で使用したコンクリートは、 F_c が35.3MPa (360kgf/cm²)、29.4MPa (300kgf/cm²) の2種類のコンクリートである。粗骨材は最大寸法13mmの碎石を使用し、

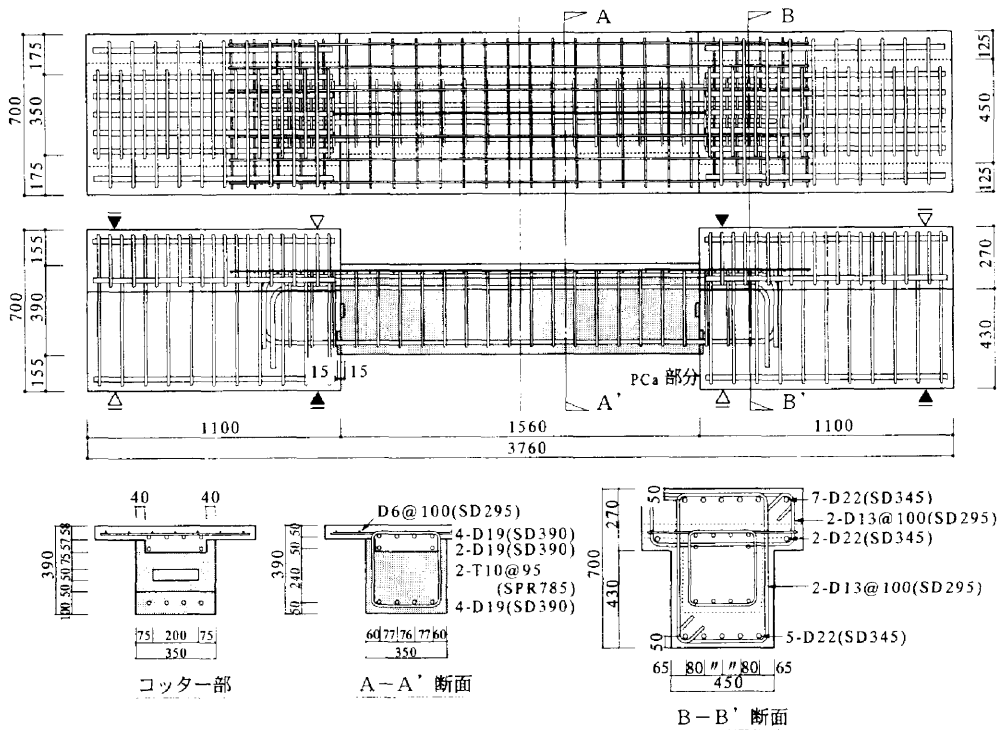


図-11 試験体の形状寸法および配筋の一例

表-4 試験体諸元

試験体名	F_c	種類	主筋	補強筋
B-1	360	PCa	上端筋 4-D19 (2-D19)	2-T10@95
B-2	300		下端筋 4-D19	2-T10@75

* 主筋（括弧内は二筋）、補強筋の強度は、それぞれSD390、SPR785である。

表-5 コンクリートの材料特性

F_c	試験体名	部位	圧縮応力度		弾性係数 E_c ($\times 10^4$ MPa)	引張強度 σ_t (MPa)
			σ_B (MPa)	ϵ_B (μ)		
360	B-1	PCa	37.6	2395	2.31	2.54
		後打	35.0	2316	2.38	3.15
300	B-2	PCa	34.6	2246	2.35	2.27
		後打	30.6	2320	2.48	2.28

* 表中の数値は平均値

表-6 鉄筋の材料特性

鉄筋径	種別	降伏強度		弾性係数 E_s ($\times 10^4$ MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	伸び (%)
		σ_y (MPa)	ϵ_y (μ)			
D19	SD390	432.4	1316	1.87	657.5	20.3
T10	SPR785	869.0	4174	2.09	1057.7	16.5

* 表中の数値は平均値

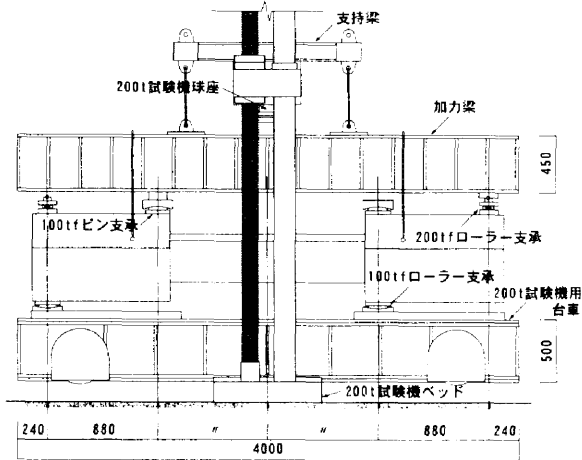


図-12 加力装置の概要

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。試験体に使用したコンクリートの材料試験結果を表－5に示す。

②鉄筋

梁実験で使用した鉄筋は、主筋には異形棒鋼SD390の

D19を用い、せん断補強筋には異形棒鋼SPR785のT10を用いた。鉄筋の引張試験結果を表－6に示す。

(3) 加力装置および測定方法

加力装置の概要を図－12に示す。加力方法は、200tアムスラーを使用してピン位置を変えることにより正負交番加力となるような大野式逆対称加力で行った。加力スケジュールを図－13に示す。加力の制御は、部材角 R ($=\delta/H$, δ : 梁中央部での水平変位) によって行い, $R=2.5\times 10^{-3}\text{rad}$. を正負各1回, $R=5.0\times 10^{-3}$, 10×10^{-3} , 20×10^{-3} , $30\times 10^{-3}\text{rad}$. を正負各2回繰り返し加力を行った後, $R=50\times 10^{-3}\text{rad}$. を正負各1回の繰り返し加力を行った。計測は部材の加力点位置における全体変形を計測した。

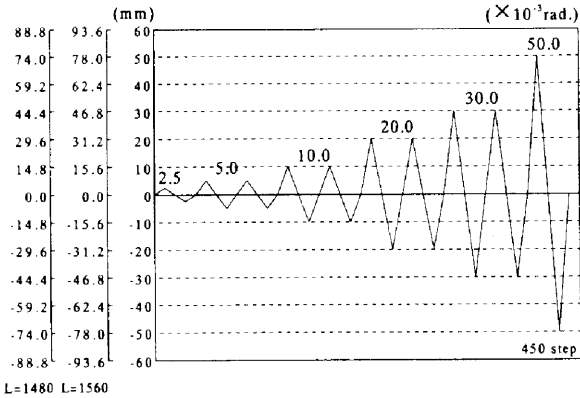
3－2 実験結果

(1) 破壊状況

各試験体の最終ひび割れ状況を図－14に示す。初期曲げひび割れは, $R=2.5\times 10^{-3}\text{rad}$. 時に全ての試験体において発生した。せん断ひび割れは, $R=2.5\times 10^{-3}\text{rad}$. 時に F_c が大きいB-1試験体において発生した。B-2については, $R=5.0\times 10^{-3}\text{rad}$. 時に発生した。また、各試験体とも, $R=20\times 10^{-3}\text{rad}$. 時に梁水平打ち継ぎ部に沿って亀裂が発生した。主筋の降伏は、全試験体において $R=10\times 10^{-3}\text{rad}$. 時に発生した。

(2) 荷重－変形関係

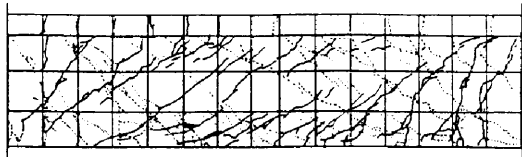
各試験体の荷重－変形関係を図－15に示す。また、実験値と計算値¹⁾の比較を図－16に示す。図－15より、各試験体とも, $R=20\times 10^{-3}\text{rad}$. まで耐力を維持していることがわかる。その後耐力低下は見られるものの、最終部材角まで安定したループを描いており、韌性に富んだ性能を有していることがわかる。



図－13 加力スケジュール

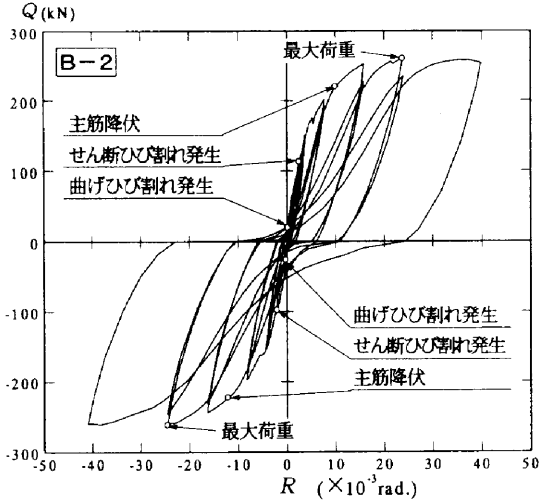
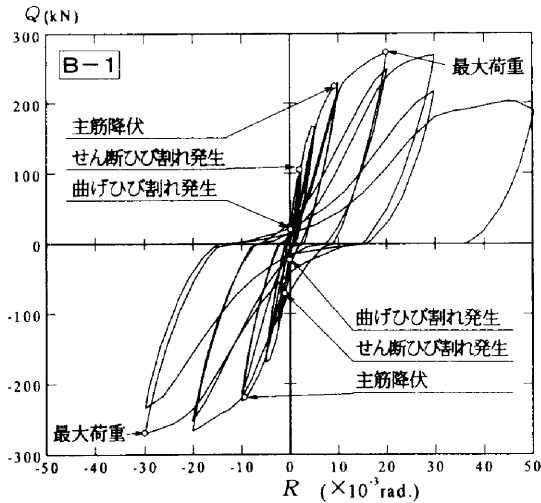


B－1



B－2

図－14 各試験体の最終ひび割れ状況



図－15 荷重－変形関係

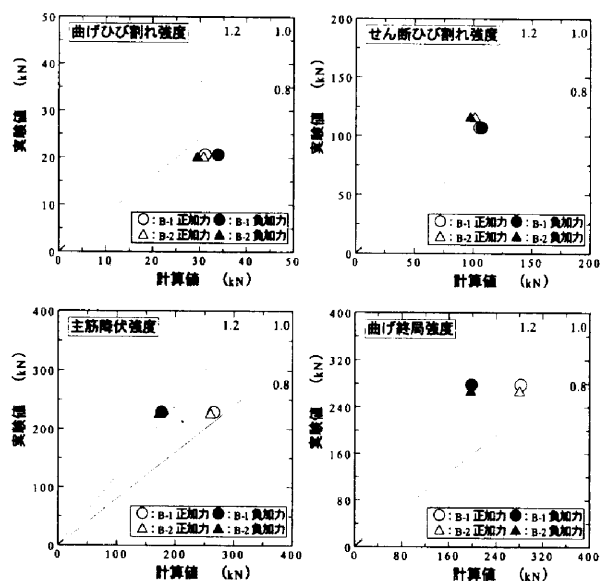


図-16 実験値と計算値の比較

§ 4. おわりに

本報で得られた結果を以下に列挙する。

- ①柱試験体の荷重－変形関係は、全試験体とも部材角 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad.}$ まで耐力を維持している。その後、耐力低下は見られるものの、安定したループを描いており、 $R=50 \times 10^{-3} \text{rad.}$ においても $P-\delta$ 効果を考慮すると、

ほぼ最大荷重を維持しており、靱性に富んだ性能を有していることがわかる。

- ②柱試験体の曲率分布は、柱頭に比べて柱脚のスリーブ位置での曲率が比較的小さくなっており、その区間、剛体のような挙動を示している。

- ③柱試験体のすべり変形に関して、柱頭部は加力直後よりすべり変形量比が大きな値となって、その後減少していくのに対し、柱脚部は $R=5 \times 10^{-3} \text{rad.}$ まですべり変形量比が徐々に増加し、その後減少していく傾向がある。

- ④梁試験体の荷重－変形関係は、各試験体とも、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad.}$ まで耐力を維持していることがわかる。その後耐力低下は見られるものの、最終部材角まで安定したループを描いており、靱性に富んだ性能を有していることがわかる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，1988.
- 2) 日本建築センター：建築物の構造規定，1997.
- 3) 金川 基他：中高層RCプレキャスト工法の開発（柱部材実験），日本建築学会大会学術講演梗概集C-2，pp.145-146，1997.