

# 論文 超高強度プレキャスト RC 柱の耐震性能に関する実験的研究

菊田 繁美\*1・千葉 脩\*2・和泉 信之\*3・竹中 啓之\*1

**要旨：** 圧縮強度が 80,100,120N/mm<sup>2</sup> のコンクリートと USD685 の鉄筋を用いたプレキャスト鉄筋コンクリート造柱部材の構造性能の確認を目的として曲げせん断実験を行った。既往の場所打ち鉄筋コンクリート造柱部材の実験結果と比較検討した結果、太径のスリーブを用いた機械式継手は主筋位置を断面中央に寄せたため最大曲げ耐力が低下したものの、靱性についてはほぼ同等であり、最大曲げ耐力は断面分割法を用いて精度よく推定できることが判明した。

**キーワード：** 高強度, プレキャスト, グラウト, 曲げ耐力, 断面分割法

## 1. はじめに

筆者らは既報<sup>1)</sup>に示したように圧縮強度が Fc70N/mm<sup>2</sup> までの高強度コンクリート柱のプレキャスト

化については実験により力学的性能を把握し、実用化している。既報<sup>1)</sup>では柱脚部に注入するグラウトの圧縮強度を考慮することにより曲げ耐力を適切に評価できることを示した。

本研究は、圧縮強度が 80, 100, 120N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートを用いたプレキャスト柱の力学的性能を実験的に把握すること、および既往の場所打ちコンクリート柱の実験結果<sup>2),3),4)</sup>と比較検討することによりプレキャスト柱の特性について検討したものである。

## 2. 試験体

試験体の一覧、試験体断面形状、および試験

表-1 試験体一覧

試験体名	コンクリート		グラウト		主筋		せん断補強筋		M/QD	軸力比 N/(B・D・c・σ <sub>B</sub> ) ~N/(A <sub>S</sub> ・s・σ <sub>y</sub> )
	cσ <sub>B</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	gσ <sub>B</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	sσ <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	P <sub>g</sub> (%)	sσ <sub>wy</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	P <sub>w</sub> (%)				
HRPCC12	82.1	120.5	12-D16	735	2.65	4-U6.4@50	1466	0.80	1.5	-0.48~0.65
HRPCC13	103.6	145.8	12+4-D16	735	3.54	4-U6.4@40	1466	1.00		-0.43~0.66
HRPCC14	123.2	145.8	12-D16	735	2.65	4-U6.4@40	1466	1.00		-0.3
UHRC11	79.3	---	12-D16	692	2.65	4-S6@55	1056	0.78		-0.49~0.69
UHRC03	104.5	---	12+4-D16	713	3.54	6-D6@40	849	1.60		-0.43~0.67
UHRC04	122.4	---	12-D16	738	2.65	4-U6.4@35	1285	1.14		-0.3

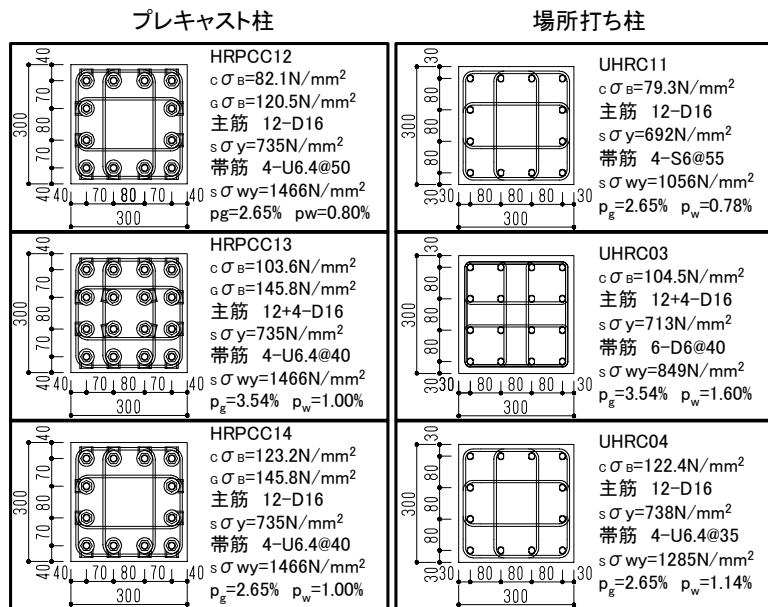


図-1 試験体断面形状

体の配筋を表-1, 図-1, 2に示す。プレキャスト柱試験体と既往の場所打ちコンクリート柱試験体のそれぞれ3体であり、全試験体ともせん

\*1 戸田建設 (株) 技術研究所 工修 (正会員)

\*2 戸田建設 (株) 技術研究所所長 工修 (正会員)

\*3 戸田建設 (株) 構造設計部グループ長 工博 (正会員)

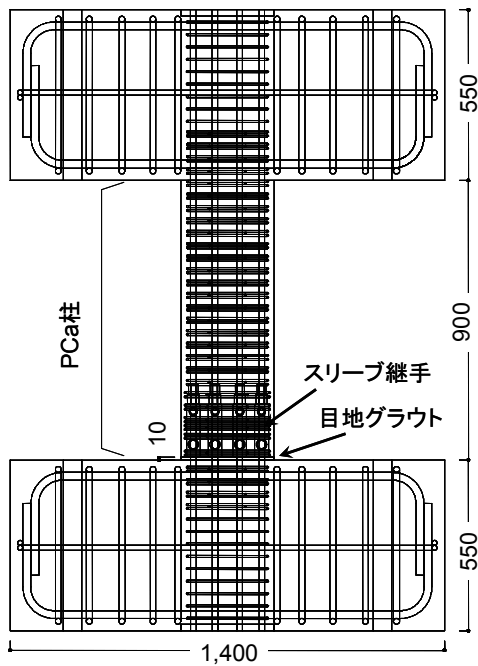


図-2 試験体配筋

断スパン比が 1.5、断面が 300mm×300mm である。コンクリートの圧縮強度は約 80, 100, 120 N/mm<sup>2</sup> でプレキャスト柱 HRPCC12, HRPCC13, HRPCC14 に既往の場所打ちコンクリート柱 UHRC11, UHRC03, UHRC04 がそれぞれ対応する。全試験体とも主筋には USD685 を用いプレキャスト柱と既往の場所打ちコンクリート柱の鉄筋比を合わせたが、機械式継手部のかぶり厚さを確保するために既往の場所打ちコンクリート柱に比べてプレキャスト柱の主筋位置が内側に 10mm ずれている。せん断補強筋には SBPD1275 を用い鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説によるせん断耐力が ACI のストレスブロックによる曲げ耐力の 1.2 倍以上となるように配筋した。グラウトは柱脚部の厚さ 10mm と機械式継手内に同時に注入し、充填口の栓跡は空洞とした。グラウトの強度は HRPCC12 が 120N/mm<sup>2</sup>, HRPCC13, HRPCC14 が 145N/mm<sup>2</sup> であった。全試験体とも上下スタブと柱部分を分離してコンクリートを縦打ちで打設し、4～6 週間室内で気中養生した。材料試験結果を表-2、表-3 に示す。コンクリートの圧縮強度は約 80, 100, 120MPa で既往の場所打ちコンクリート柱とほぼ同じであった。

表-2 材料試験結果

コンクリート	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割線剛性 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
HRPCC12	82.1	36900	3.6
HRPCC13	103.6	40800	5.3
HRPCC14	123.2	43700	4.2

鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
D16	735	195000	932
U6.4	1466	203000	1486

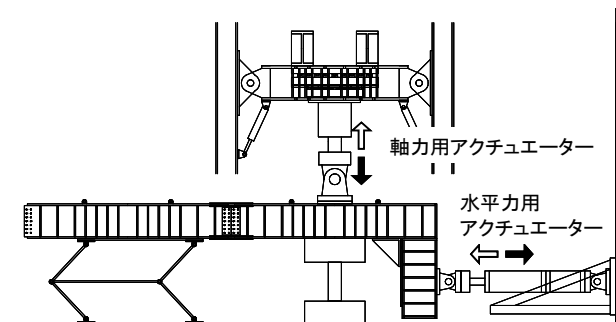


図-3 加力装置

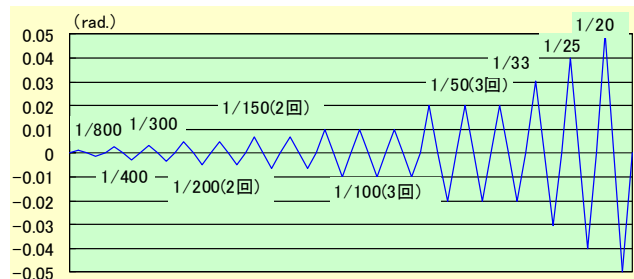


図-4 加力スケジュール

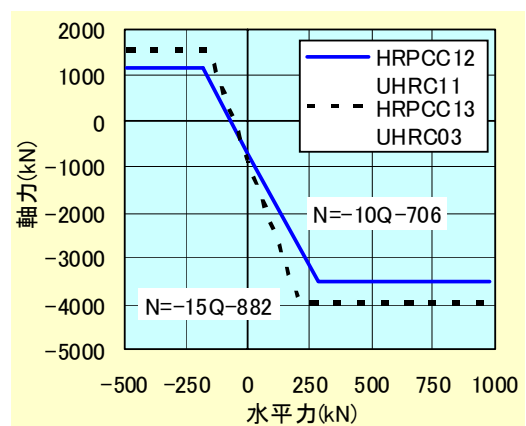


図-5 水平力と軸力の関係

### 3. 加力方法

加力装置、加力スケジュールおよび変動軸力時の水平力と軸力の関係を図-3, 4, 5 に示す。

加力は、柱試験体の柱脚を固定し、柱頭のL型加力梁を用いて試験体中央部が反曲点となるように正負逆対称繰り返し加力を行った。加力スケジュールおよび軸力とも既往の場所打ちコンクリート柱に合わせた。軸力としてHRPCC12,13には変動軸力、HRPCC14には一定軸力を作用させ、変動軸力は上下限の範囲内で水平力の1次関数として作用させた。

#### 4. 実験経過

全試験体の部材角  $1/50\text{rad}$  におけるひび割れ発生状況を図-6に示す。

HRPCC12,13 はひび割れ発生状況がほぼ同じであった。部材角  $1/800$  の引張軸力時に柱頭柱脚部に曲げひび割れが発生し、 $1/200$  の圧縮軸力時に角度が急なせん断ひび割れが発生した。圧壊は  $1/300$  で柱頭部、 $1/100$  で柱脚部に発生した。 $1/200$  で柱頭部、 $1/100$  で柱脚部の主筋が圧縮降伏した。 $1/50$  以降は柱頭部の圧壊が進展し、最終的には柱頭部かぶりコンクリートが剥落して曲げ圧縮破壊の様相を呈した。両試験体とも圧縮軸力時には部材角  $1/50$  近傍で最大耐力を示し、その後耐力低下した。引張軸力時には部材角  $1/20$  に至るまで耐力が上昇し続ける安定した履歴性状を示した。

HRPCC14 では、部材角  $1/300$  で両端部に曲げひび割れ、 $1/200$  で柱頭部に圧壊が発生した。 $1/150$  で中央部に角度が急なせん断ひび割れが発生し、柱頭部の主筋が圧縮降伏した。 $1/50$  で柱脚部に圧壊が発生し、柱脚部の主筋が圧縮降伏した。 $1/50$  以降は柱頭部の圧壊が進展し、最終的には柱頭部かぶりコンクリートが剥落して曲げ圧縮破壊の様相を呈した。

HRPCC12,13,14 とも圧壊発生と主筋の圧縮降伏が既往のUHRC11, UHRC03, UHRC04に比べると、柱頭部においては早かったが、柱脚部においては遅かった。

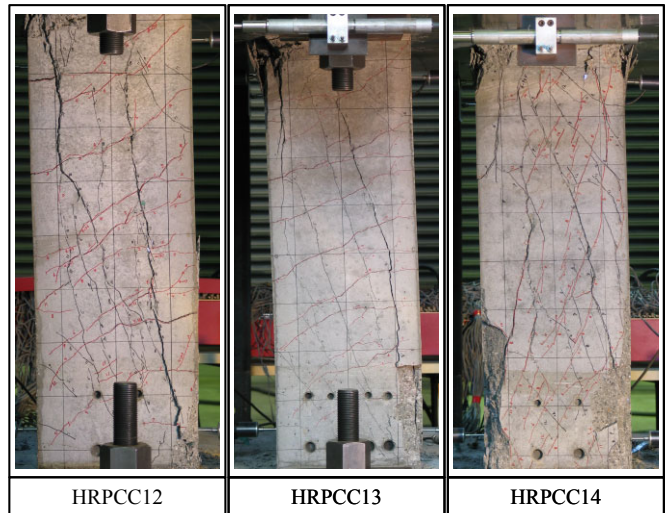


図-6 ひび割れ状況 ( $1/50\text{rad}$ )

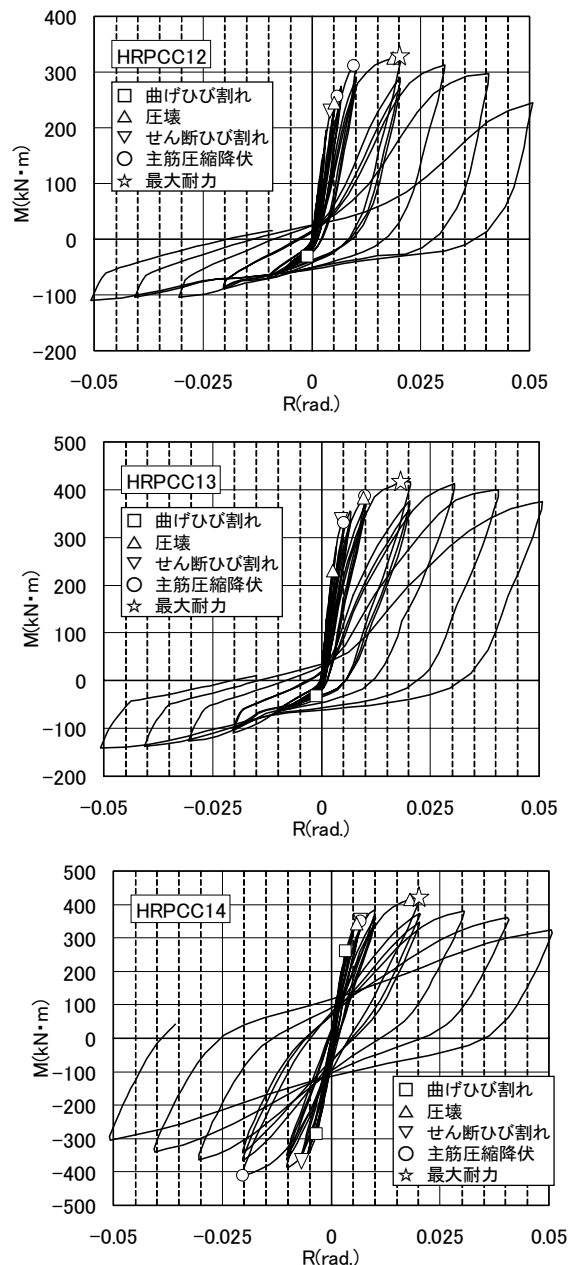


図-7 荷重-変形関係

## 5. 実験結果

### 5.1 荷重-変形関係

各試験体の荷重-変形関係を図-7に示す。いずれの試験体とも柱頭部の圧壊、せん断ひび割れおよび主筋の圧縮降伏が発生した 1/200~1/150rad.以降に剛性が大きく低下した。全試験体とも 1/50rad.で最大耐力を示した後に耐力低下したが、1/20rad.の大変形においても最大耐力に対して HRPCC12,14 では約 75%, HRPCC13 では約 90%の耐力を保持した。

各試験体の荷重-変形関係の包絡線について場所打ちコンクリート柱との比較を図-8に示す。コンクリート強度が約 80N/mm<sup>2</sup>の HRPCC12 と場所打ちコンクリート柱 UHRC11 の包絡線がほぼ一致した。コンクリート強度が約 100N/mm<sup>2</sup>と 120N/mm<sup>2</sup>の HRPCC13 と HRPCC14 では 1/200rad.以降において場所打ちコンクリート柱の包絡線を下回っており、最大耐力では 10%と 5%下回った。最大耐力以降の耐力低下状況については、ほぼ同様の傾向を示した。

### 5.2 試験体の諸強度

柱試験体の諸強度に関する実験値と計算値の比較を表-3に示す。既往の場所打ちコンクリート柱の実験結果も併記した。曲げひび割れ強度については、実験値と計算値がほぼ一致した。柱主筋の圧縮降伏強度は、プレキャスト柱の脚部で実験値が計算値を 10~20%上回ったものの、その他では両者はほぼ一致した。圧壊強度は、プレキャスト柱の脚部で実験値が計算値を大きく下回った。

最大耐力については、実験値と計算値は 10%の誤差範囲内で一致した。変動軸力試験体の引張軸力時

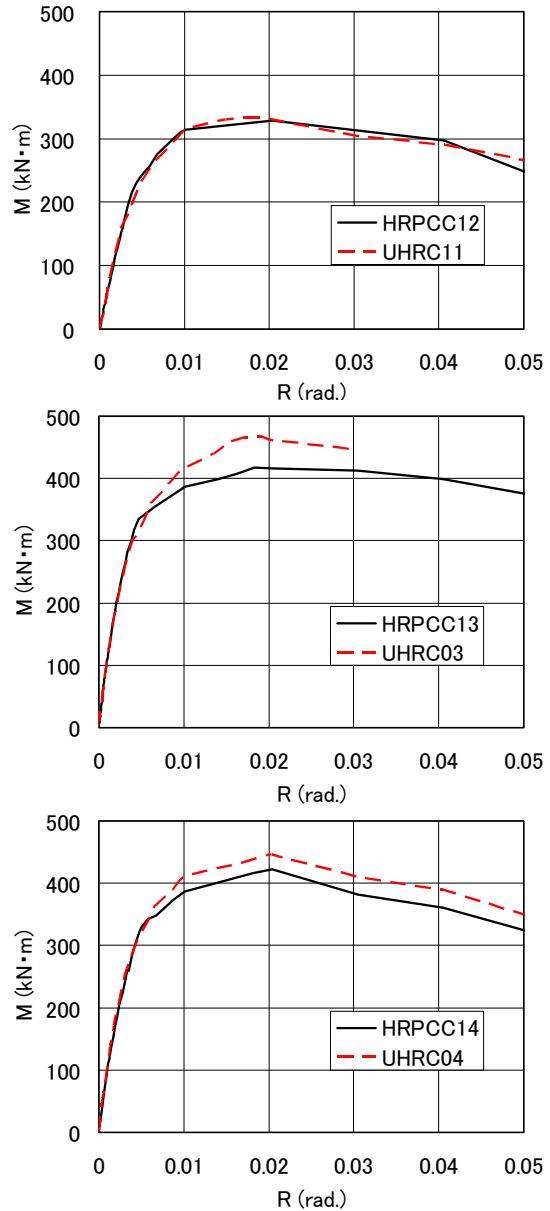


図-8 荷重-変形関係の包絡線

表-3 実験値と計算値の比較

		HRPCC12	HRPCC13	HRPCC14	UHRC11	UHRC03	UHRC04	
曲げひび割れ強度 Mc(kN·m)		31* <sup>1</sup> (33)	32* <sup>1</sup> (30)	260 (209)	30* <sup>1</sup> (34)	30* <sup>1</sup> (28)	263 (208)	
主筋圧縮 降伏強度 My(kN·m)	柱頭	256 (255)	331 (310)	349 (368)	259 (297)	392 (376)	399 (421)	
	柱脚	311 (255)	387 (310)	410 (368)	259 (297)	376 (376)	403 (421)	
圧壊強度 Mcc(kN·m)	柱頭	245 (281)	231 (353)	343 (405)	269 (298)	331 (373)	278 (421)	
	柱脚	325 (294)	383 (368)	416 (410)	235 (298)	310 (373)	263 (421)	
最大耐力 Mu(kN·m)	圧縮	柱頭	329 (298)	417 (368)	423 (410)	333 (317)	465 (420)	447 (430)
		柱脚	310 (324)	386 (386)	427 (427)	---	---	---
	引張	114 (---)	163 (---)	---	111 (---)	109 (---)	---	

( )内は計算値  
 Mc = (0.56 √σ<sub>B</sub> Ze+ND/6)  
 \*1: 引張軸力時

My, Mcc, Mu: 断面分割法による。  
 コンクリートをNewRCで提案された  
 応力-歪関係とした。(図-9.10)を参照

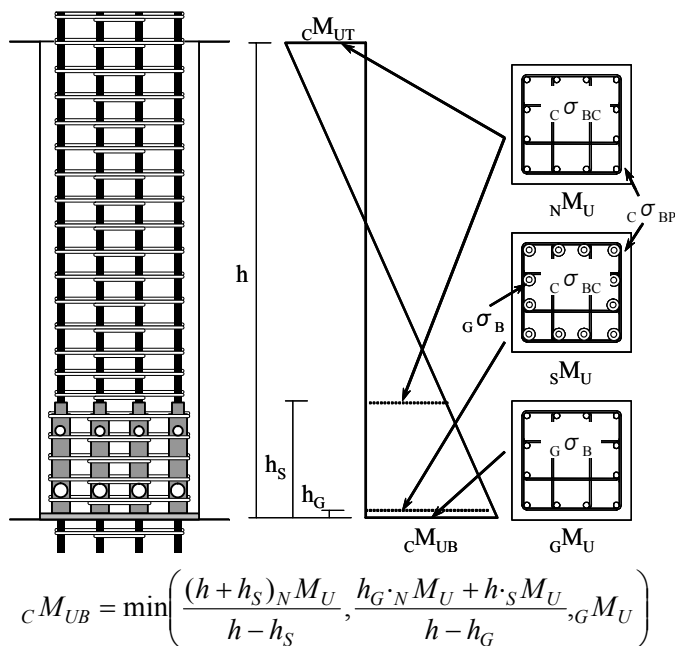


図-9 最大曲げ耐力の算定方法

においては、実験終了時まで耐力上昇過程にあり、最大耐力は確認できなかった。

断面分割法の算定方法を図-9に示す。スリーブ上部、スリーブ下部、グラウト下部の3種類について曲げ耐力を算定し、それぞれを柱脚位置モーメントに換算して、それらの最小値を柱脚の最大耐力とした。それぞれの算定境界面において異なる材料が接する場合は、強度の低い材料の応力-歪関係を用いて曲げ耐力を算定した。

HRPCC12~14において、断面分割法に用いた各材料の応力-歪関係を図-10に示す。各材料の応力-歪関係は文献5)を参考にして設定した。グラウトとかぶり部分のプレーンコンクリートは最大強度以降に急激に強度低下するものとし、せん断補強筋で拘束されたコア部分のコンファインドコンクリートは最大強度以降の強度低下が緩やかなものとした。HRPCC12のグラウトの強度は120N/mm<sup>2</sup>でプレーンコンクリートの約1.5倍、HRPCC13では約1.4倍、HRPCC14では約1.2倍と高強度であり、全試験体でコンファインドコンクリートの強度を上回った。

表-3に示したHRPCC12, 13, 14の柱脚の最大耐力は図-9に示したスリーブ下部の曲げ耐力 $sM_U$ で決定され、柱頭の曲げ耐力に比べて5~

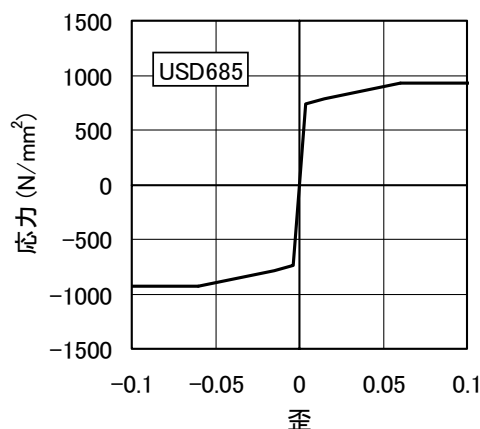
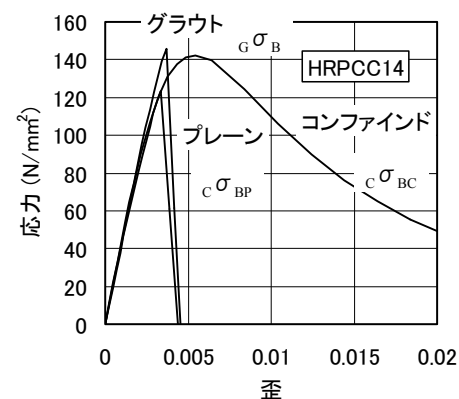
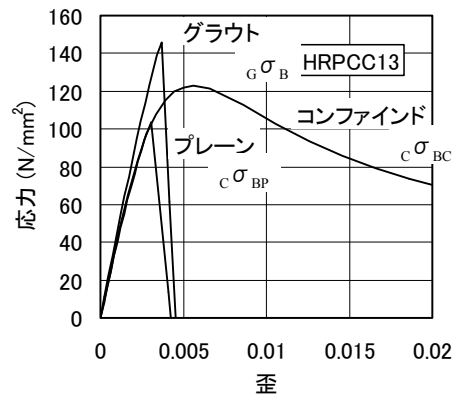
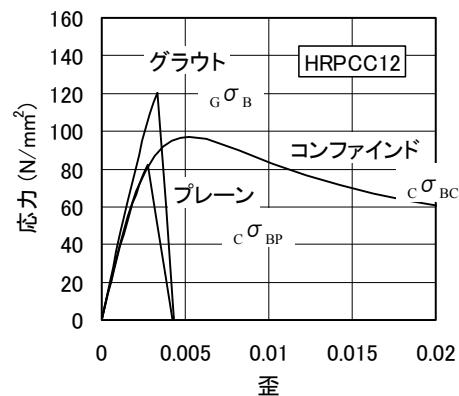


図-10 各材料の応力-歪関係

10%大きかった。これは、スリーブ直下のグラウトが高強度であること、および太径スリーブのせん断補強筋で囲まれるコアコンクリート面積が大きくなったためである。プレキャスト柱が

場所打ち柱に比べて柱頭の曲げ耐力が小さかったのは、主筋が内側に寄りコアコンクリート面積が小さくなったためである。

### 5.3 柱頭柱脚の曲げ性状

HRPCC14 および UHRC04 の柱頭柱脚の各サイクルピーク時における曲率と隅角部における歪を図-11に示す。プレキャスト柱の HRPCC14 では

柱頭と柱脚の曲率を比較すると 1/100rad. で約 2 倍, 1/50 rad. で約 3 倍と柱頭の曲率が大きく増大したが, 場所打ち柱の UHRC04 では柱頭が若干大きいものの 1/50 rad. では柱頭柱脚ともほぼ同じであった。HRPCC14 の柱頭部圧縮域の圧縮歪が柱脚部に比べて大きく増大していることから, 柱頭部の曲げ圧縮破壊が進行して柱頭部に回転変形が集中したものと考えられる。

### 6. まとめ

- (1)プレキャスト柱は場所打ち柱に比べて柱頭部の曲げ圧縮破壊が早期に進行し最大耐力が若干低下した。最大耐力以降の耐力低下状況は, 両者ともほぼ同様であった。
- (2)最大曲げ耐力について, 断面分割法を用いると実験値に対して 10%の誤差範囲内で適切に評価することができた。
- (3)プレキャスト柱は場所打ち柱に比べて主筋が内側に寄りコアコンクリート断面積が小さくなったため, 柱頭の曲げ耐力が低くなったものと考えられる。
- (4)プレキャスト柱の柱脚ではスリーブ直下のグラウトが高強度であること, および太径スリ

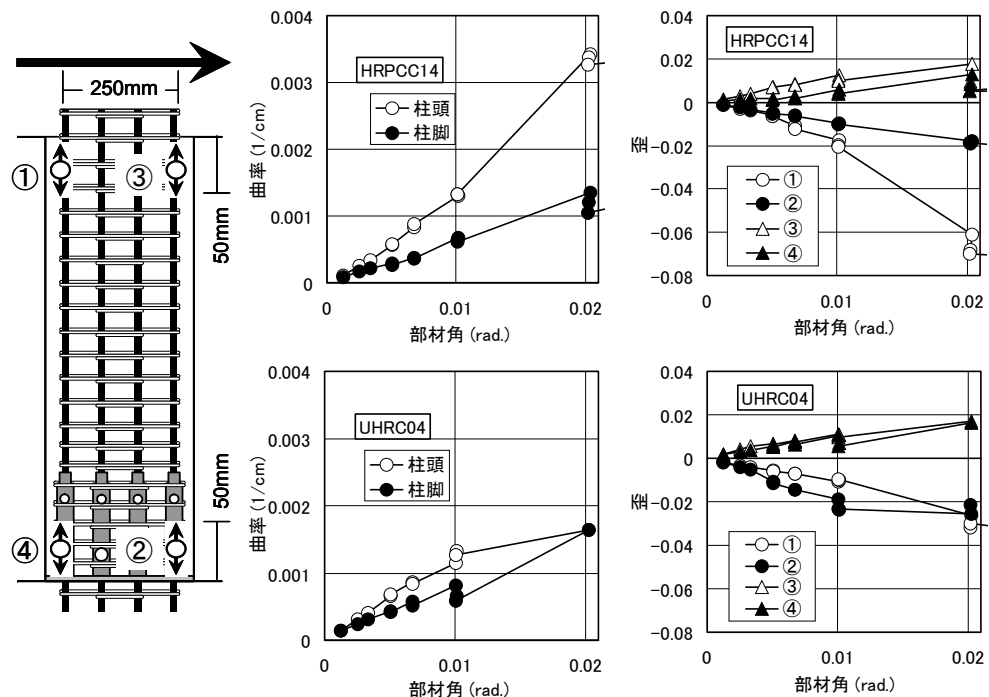


図-11 柱頭柱脚の曲率と隅角部歪

ーブのせん断補強筋で囲まれるコアコンクリート断面積が大きくなったために柱頭に比べて最大耐力が 5~10%大きくなったものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 菊田繁美他：プレキャスト鉄筋コンクリート造柱部材に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.2, pp.679-684, 2002.6
- 2) 菊田繁美他：超高強度材料を用いた RC 柱部材に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.591-596, 1997.6
- 3) 菊田繁美他：超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造の柱部材に関する実験研究 (その3) (その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV,C-2, pp.191-194, 2000.9
- 4) 菊田繁美他：超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造の柱部材に関する実験研究 (その5) (その6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV,C-2, pp.423-426, 2001.9
- 5) (財)国土開発技術研究センター：平成4年度 New RC 研究開発概要報告書, 1993.3