

# 論文 接合部一体型高強度プレキャスト RC 骨組に関する実験的研究

竹中 啓之<sup>\*1</sup>・濱田 聡<sup>\*2</sup>・和泉 信之<sup>\*3</sup>・千葉 脩<sup>\*4</sup>

**要旨**：梁と接合部を一体のプレキャスト部材とし、柱脚に機械式継ぎ手を設けた接合部一体型高強度プレキャスト鉄筋コンクリート造柱梁部分架構試験体の載荷実験を行い、耐震性能を評価した。また、既に実施した柱梁部分架構試験体（柱梁接合部・梁上部・スラブを現場施工部とした試験体）の実験結果との比較により、接合部工法の差異による影響を検討した。  
**キーワード**：接合部一体型プレキャスト部材、高強度コンクリート、シース管、耐震性能

## 1. はじめに

著者らは、超高層プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の設計施工システム(TO-HRPC 工法)の研究開発を行っている(例えば<sup>1)</sup>)。本研究は、施工方法の更なる合理化、および躯体品質の向上を目的とした、梁と接合部とを一体のプレキャスト部材とする接合部一体型の高強度コンクリートを使用したプレキャスト構造の開発である。施工方法の概要は、柱、梁・接合部をプレキャスト部材とし、梁接合部一体プレキャスト部材に、下層階柱主筋を貫通させる為のシース管を埋め込み、鉄筋および接合部上下の目地部にグ

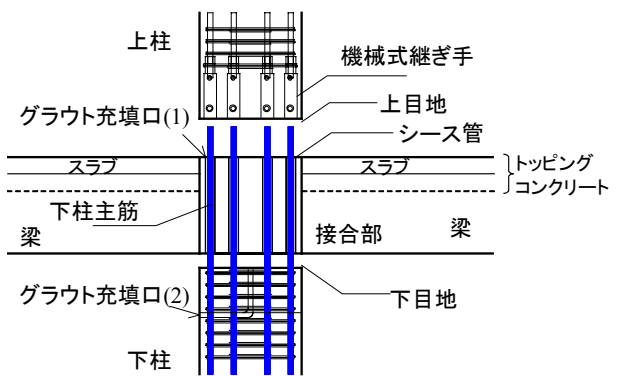


図-1 接合部一体型プレキャスト RC 造概要

ラウト材を充填する(図-1)。上層階プレキャスト柱脚部はネジ定着部とモルタル定着部を有

表-1 試験体諸元

	HRPC21	HRPC22	HRPC-T4
柱断面(B×D mm)	425×425	425×425	425×425
柱・接合部 Fc(N/mm <sup>2</sup> )	60	100	100
柱主筋	12-D19(USD685)	12-D19(USD685)	16+6-D22(SD490)
柱補強筋	4-D6@50(USD685)	4-D6@50(USD685)	4-D6@50(USD685)
梁断面(B×D mm)	400×300	400×300	400×320
梁 Fc(N/mm <sup>2</sup> )	42	60	48
梁主筋	上端：4+2-D19(SD490) 下端：4-D19(SD490)	上端：4+2-D19(USD685) 下端：4+2-D19(USD685)	上端：4+1-D22(SD490) 下端：4+1-D22(SD490)
梁補強筋	4-D6@55.80(USD685)	4-D6@45.65(USD685)	4-D6@65.80(USD685)
スラブ筋	D6@100(SD295A)	D6@100(SD295A)	—
接合部グラウト充填法	接合部上面からの流し込み	下柱注入管からの圧入	下柱注入管からの圧入
トッピングコンクリート(N/mm <sup>2</sup> )	36	42	60
軸力	一定軸力(0.3σ <sub>B</sub> )	一定軸力(0.3σ <sub>B</sub> )	変動軸力(0.23cσ <sub>B</sub> ~0.55sσ <sub>y</sub> )
備考	梁両側にスラブ・直交梁	梁片側にスラブ、直交梁 梁開口有り (開口補強筋 SD345)	梁開口有り(2カ所) (開口補強筋 KSS785)

\*1 戸田建設(株) 技術研究所 工修 (正会員)

\*2 戸田建設(株) 構造設計部 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)

\*4 戸田建設(株) 技術研究所長 工修 (正会員)

する機械式スリーブ継ぎ手とする。本論文では、接合部一体型高強度プレキャスト鉄筋コンクリート造に関して実施した柱梁部分架構模型試験体載荷実験について述べ、その耐震性能を評価する。また、既に実施した柱梁部分架構試験体（柱梁接合部・梁上部・スラブを現場施工部材とした試験体）の実験結果との比較により柱梁接合部をプレキャスト工法とした場合の性能の違いについて述べる。

## 2. 実験計画

### 2.1 試験体概要

実験に供した柱梁部分架構試験体の諸元および形状を表-1、図-2に示す。試験体は建物の中柱梁接合部を模擬した HRPC21, 22 試験体と隅柱梁接合部を模擬した HRPC-T4 試験体とする。接合部に埋め込むシース管は、標準型の #1000 を基本とし、外面凹凸の大きい #3000、凹凸の小さい #4000 を同一試験体で使用し（図-2(d)）、その部分の柱主筋付着性能を検討する。HRPC21 試験体は接合部上面鉄筋貫通孔からグラウト材を流し込んで充填させる。HRPC22, T4 試験体は、下側の柱に鋼製フレキシブルホースを埋め込み、下目地および接合部シース管内にグラウト材を充填する。接合部と上柱はネジ定着部とモルタル定着部を持つ継ぎ手で接合する。材料試験結果を表-2に示す。また、今回の試験体シリーズとほぼ同一の形状および諸元の既実施試験体（柱・梁をプレキャスト部材、接合部・梁上・スラブを現場施工部材とした試験体で、HRPC21 は HRPC14, HRPC22 は HRPC17, HRPC-T4 は HRPC-T3 に、それぞれ、対応。）については参考文献 [1] ~ [3] を参照されたい。

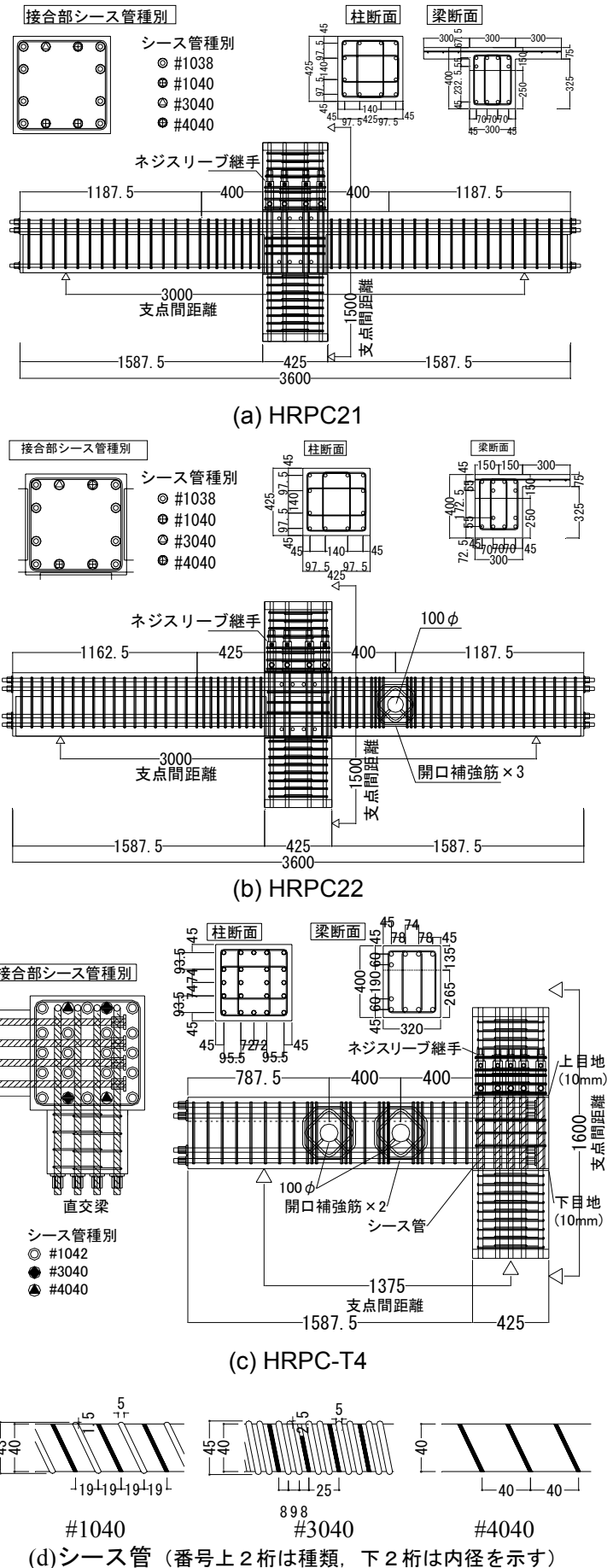


図-2 試験体図

## 2.2 実験装置および加力スケジュール

実験装置を写真-1に示す。柱梁部分架構試験体の梁端部（梁反曲点位置）をピン・ローラー支持、柱上下端部（柱反曲点位置）をピン支持とし、柱上端部に水平力と鉛直軸力を載荷する。

加力スケジュールを図-3に示す。HRPC21, 22 試験体は、 $0.3\sigma_B$ の一定軸力を与え、水平加力を行う。HRPC-T4 試験体は、図-3(c)に示すように、軸力を水平力の1次関数とし、 $0.23c\sigma_B \sim 0.55s\sigma_y$ の範囲で変動させ水平加力を行う。

## 3. 実験結果

### 3.1 実験経過および荷重変形関係

試験体の変形角  $1/50\text{rad}$ 時の状況を写真-2(a)~(c)に、荷重変形関係を図-4に示す。

HRPC21 は、 $1/1000\text{rad}$ で梁に曲げひび割れが生じ、 $1/100\text{rad}$ で梁主筋が降伏、接合部にせん断ひび割れが生じた。 $1/50\text{rad}$ で梁下端部が圧壊し、下側目地部にひび割れが生じた。 $1/100\text{rad}$ 終了時

の残留ひび割れ幅は梁端部の目開きで約  $0.5\text{mm}$ 、曲げひび割れが  $0.06\text{mm}$ 、せん断ひび割れが  $0.04\text{mm}$ であった。実験終了時に、接合部上下目地部での大きなずれや損傷は見られなかった。

HRPC22 は、 $1/1000\text{rad}$ で曲げひび割れが生じ、 $1/100\text{rad}$ で梁および接合部にせん断ひび割れが生じて梁主筋が降伏した。 $1/75\text{rad}$ で梁下端部が圧壊した。接合部の上下目地部は、最終サイクル終了時も HRPC21 と同じく、ずれや損傷は見

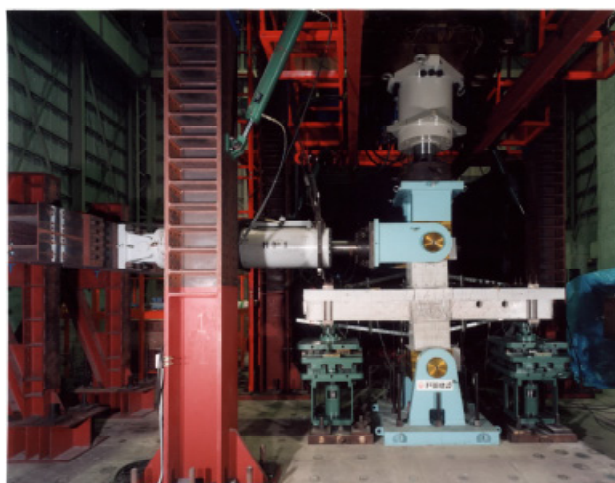


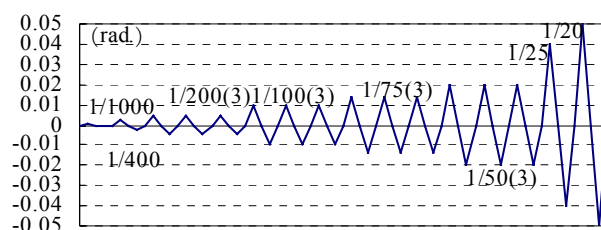
写真-1 実験装置

表-2 材料試験結果

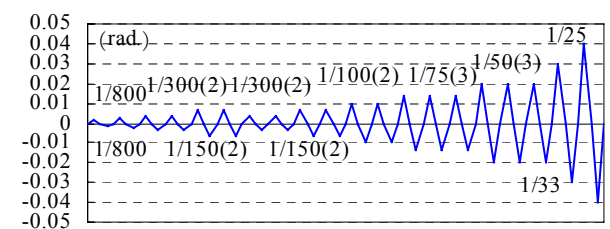
鉄筋 (材料種別)	ヤング 係数 ( $\times 10^5 \text{N/mm}^2$ )	降伏 強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張 強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
D22 (SD490)	1.978	517	676
D19 (SD490)	1.961	514	682
D19 (USD685)	1.997	717	889
D6 (USD685)	1.964	712 <sup>*</sup>	916
D6 (SD295)	1.629	323 <sup>*</sup>	422
D13 (USD785)	2.016	914 <sup>*</sup>	1067
D13 (SD345)	1.916	379	553

※0.2%オフセット

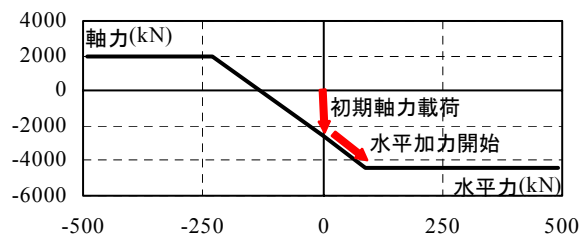
コンクリート ・グラウト材		割線剛性 ( $\times 10^5 \text{N/mm}^2$ )	圧縮 強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	割裂 強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
HRPC21	柱・接合部	0.363	65.2	4.3
	梁	0.321	40.6	2.6
	梁上・スラブ	0.285	33.8	2.4
	下目地	0.425	106	5.5
	上目地	0.402	124	5.8
HRPC22	柱・接合部	0.416	98.6	4.7
	梁	0.354	63.2	4.0
	梁上・スラブ	0.289	37.5	2.7
	下目地	0.524	138	5.3
	上目地	0.504	154	4.0
HRPC-T4	柱・接合部	0.415	103	6.4
	梁	0.331	49.9	3.5
	梁上	0.337	61.4	3.5
	下目地	0.489	136	7.5
	上目地	0.526	165	5.5



(a) HRPC21,22



(b) HRPC-T4



(c) HRPC-T4 (変動軸力)

図-3 加力スケジュール

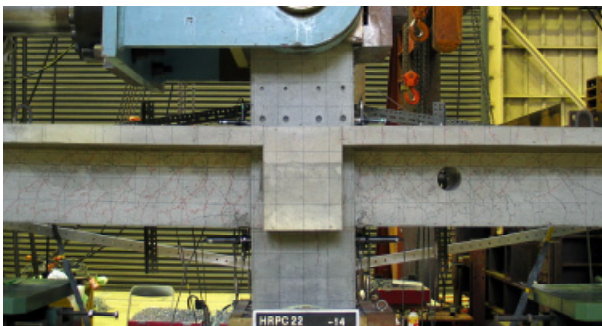
られなかった。

HRPC-T4 は 1/800rad. で梁に曲げひび割れが発生した。1/300rad. で梁にせん断ひび割れが生じ、1/150rad. の正載荷（圧縮軸力時）に梁主筋が降伏し、負載荷時（引張軸力）に柱梁接合部にひび割れが生じた。1/100rad. 正載荷時に梁下端部が圧壊した。接合部上下目地部は、引張軸力作用時に打ち継ぎ面に沿ったひび割れが生じ、変形の増加に伴いひび割れ幅が増えるのみで、大きなずれや損傷は見られなかった。

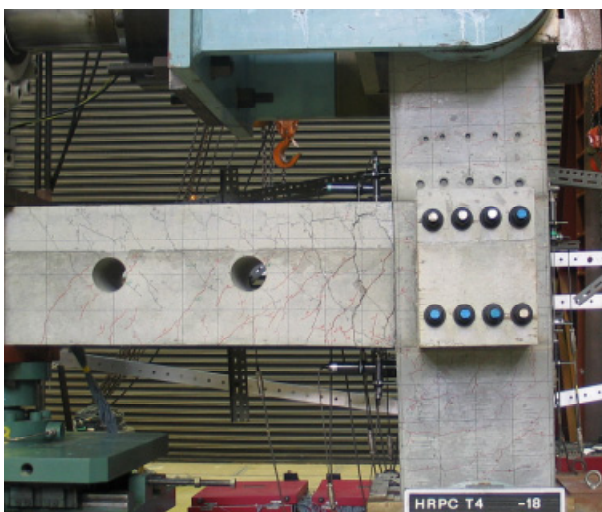
HRPC21, 22 の荷重変形関係は、最終変形角に



(a) HRPC21 (1/50rad.)



(b) HRPC22 (1/50rad.)



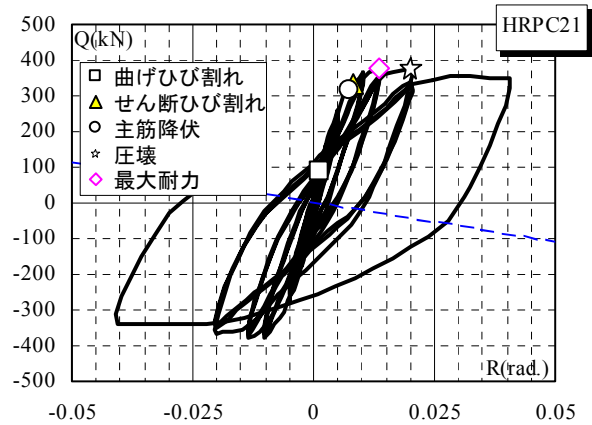
(c) HRPC-T4 (1/50rad.)

写真-2 ひびわれ状況

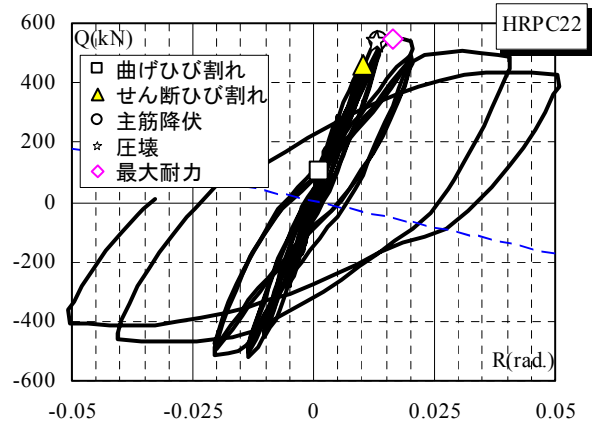
至るまで耐力低下の少ない靱性に富む履歴性状を示した。HRPC-T4 は、変動軸力の影響により正負で異なる履歴を示したが 1/25rad. に至るまで安定した履歴性状を示した。

### 3.2 接合部上下目地部のずれ変形

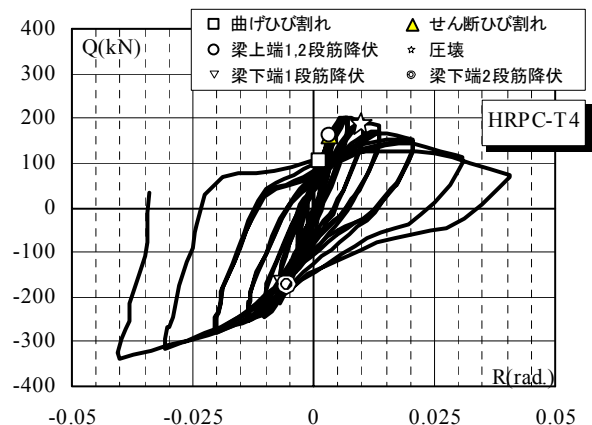
HRPC21, 22 試験体について、接合部と上下柱の目地部の水平ずれ量および鉛直開き変形量を 1/200~1/50rad. の範囲で図-5.6 に示す。柱圧縮



(a) HRPC21



(b) HRPC22



(c) HRPC-T4

図-4 荷重変形関係



軸力の大きい HRPC22 は接合部上下の目地部のずれや開きはほとんど生じなかった。HRPC21 も HRPC22 に比べると大きいですが、その値は小さい。また、除荷時の残留ずれ、開き量は 1/50rad. 時で、それぞれ、HRPC21 のずれ 0.15mm 開き 0.08mm, HRPC22 のずれ 0.07mm 開き 0.06mm であった。従って、接合部の上下に目地を設けたことによる接合部でのずれの影響は小さいと考えられる。同様に、HRPC-T4 でも、目地部の水平ずれは 1/50rad. で最大 0.2mm 程度と小さかったが、鉛直方向の開きは、引張軸力により 1/50rad. で 0.8mm とやや大きい値となった。また、引張軸力導入後の除荷時残留ずれ、開き量は 1/50rad. 時で、ずれ 0.17mm 開き 0.1mm であった。

#### 4. 考察

##### 4.1 実験結果の比較

###### (1) 包落線の比較

HRPC14,17,21,22 試験体の包落線の比較を図-7に示す。HRPC14 と 21 および HRPC17 と 22 を比較すると、それらの包落線はほとんど一致した。従って、接合部をプレキャスト部材とし、シース管および目地を設けてグラウトを充填する本工法と、従来の現場で接合部コンクリートを打設する工法とでは、それらの復元力骨格曲線を比較した場合、ほとんど差異は見られなかった。

###### (2) 等価減衰定数の比較

HRPC14,17,21,22 試験体の 1/200~1/50rad. の等価減衰定数の比較を図-8 に示す。HRPC17 と HRPC22 を比較すると、等価減衰係数の推移はほぼ同じであり、包落線の結果と併せて、接合部をプレキャスト化したことによる耐震性能への影響はほとんど無いと考えられる。HRPC14 と HRPC21 では、接合部コンクリート強度の差による接合部梁主筋の付着性状の違いにより、HRPC14 では付着劣化したため等価粘性減衰定数の値に差が出たと考えられる。HRPC21 と HRPC22 では、梁主筋強度の違いによる降伏時期のずれに起因すると考えられる差が見られた。

#### 4.2 接合部柱主筋の付着

図-9 に HRPC21,22 試験体の接合部柱主筋のひずみ分布の例を示す。本実験では柱主筋は弾性範囲であり、ひずみと応力には比例関係が成立する。よって、ひずみ値より算出して得られる付着応力度は最大変形時(HRPC21 で 1/25rad., HRPC22 で 1/20rad.) で、HRPC21 で最大

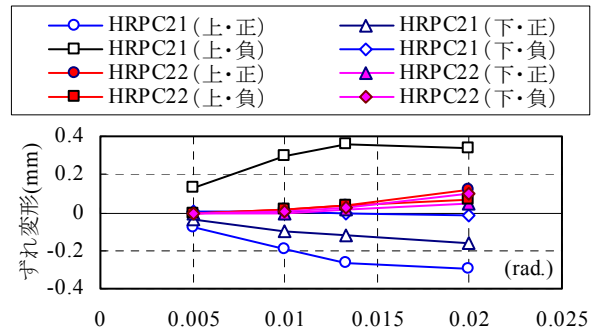


図-5 水平ずれ変形量

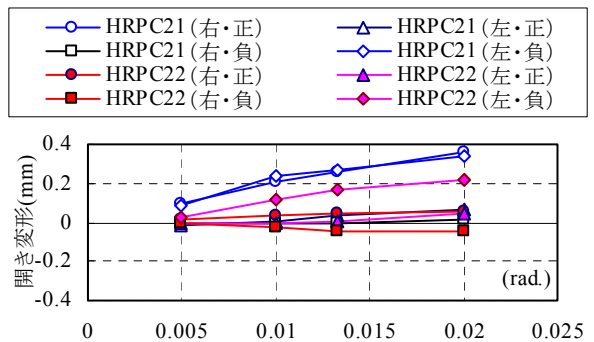


図-6 鉛直開き変形量

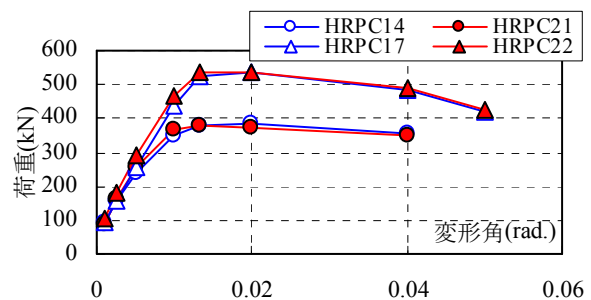


図-7 包落線の比較

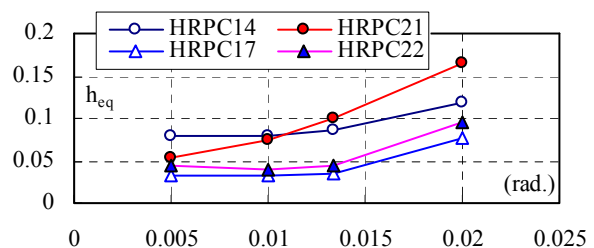


図-8 等価減衰定数の比較

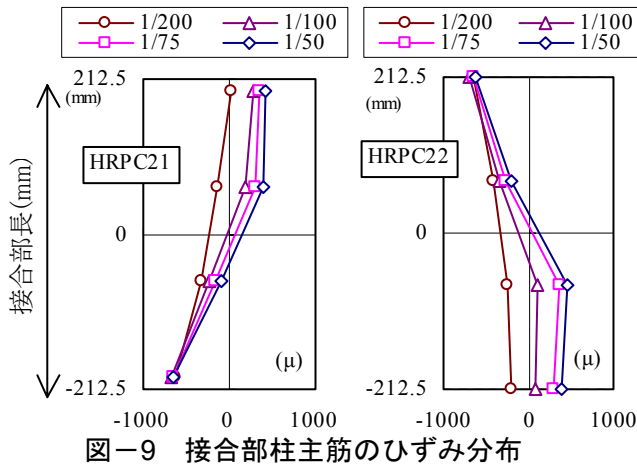


図-9 接合部柱主筋のひずみ分布

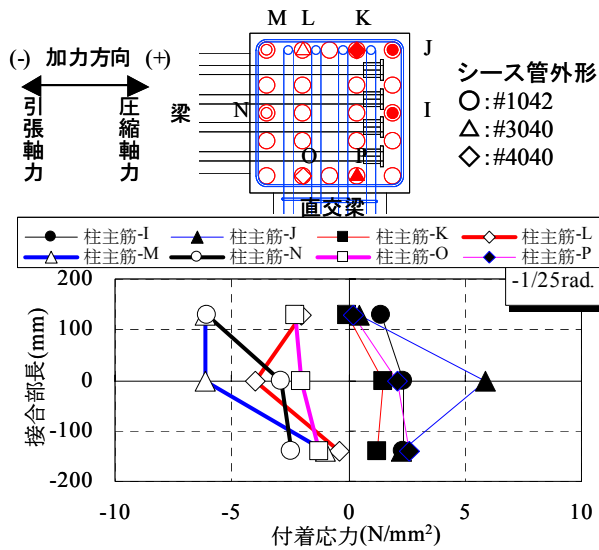


図-10 接合部柱主筋の付着応力度(HRPC-T4)

5.17N/mm<sup>2</sup>程度, HRPC22 で最大 7.21N/mm<sup>2</sup>程度であり, 終局強度型耐震設計指針<sup>4)</sup>の付着強度算定式の計算値 (HRPC21 : 11.97N/mm<sup>2</sup>, HRPC22 : 13.66N/mm<sup>2</sup>) の半分程度と付着応力度は小さい。よって, 本実験の範囲において, 一定軸力を受ける柱梁接合部では, シース管を使用することによる柱主筋の付着力の低下はほとんど無いと考えられる。

柱に変動軸力が作用する HRPC-T4 の柱引張軸力時の接合部柱主筋付着応力 (最大変形 1/25rad. 時) を図-10 に示す。HRPC-T4 の接合部柱主筋付着応力は, 最大で 6.15N/mm<sup>2</sup>程度であり, 終局強度型耐震設計指針の付着強度算定式の計算値 (11.56N/mm<sup>2</sup>) に比べて十分小さい値となっており, 付着性状の低下も見られなかった。また, シース管外形状による付着性状の差も, 本

実験の範囲内においては見られなかった。

## 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 接合部一体型高強度プレキャスト鉄筋コンクリート造柱梁部分架構試験体に関して, 各試験体とも接合部上下の目地部のずれ量は少なく, 大変形に至るまで耐力低下が少なく靱性に富む安定した履歴性状を示した。
- (2) 接合部を現場施工部とした試験体に比べ, 試験体材料強度の違いに起因すると考えられる等価減衰定数の差が見られたが, 包落線はよく一致しており, シース管とグラウト材を用いた接合部一体型プレキャスト工法は同等の耐震性能を示すと考えられる。
- (3) 柱に圧縮軸力が作用する中柱を模擬した HRPC21, HRPC22 試験体および柱に変動軸力が作用する隅柱を模擬した HRPC-T4 試験体において, 両者ともに, 大変形時における接合部柱主筋の付着応力は終局強度型耐震設計指針値に比べ小さい値しか作用せず, シース管とグラウト材を用いた接合部一体型プレキャスト工法で耐震性能が確保できると考えられる。
- (4) 本実験の範囲において, シース管の外形状の違いによる性能の差は見られなかった。

## 参考文献

- 1) 菊田 他, プレキャスト鉄筋コンクリート造の柱梁部分架構に関する実験研究 (その 7 梁主筋接合部内継手), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2 分冊, pp.591-592, 1998.9
- 2) 菊田 他, プレキャスト鉄筋コンクリート造の柱梁部分架構に関する実験研究 (その 8 高強度材料を用いた実験の概要), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2 分冊, pp.817-820, 2000.9
- 3) 石川 他, : プレキャスト鉄筋コンクリート造の柱梁部分架構に関する実験研究 (その 10 実験概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 分冊, pp.205-208, 2001.9
- 4) 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 日本建築学会, pp16, 1990