

# 論文 プレストレスト鉄筋コンクリート骨組における梁部材の耐震性能評価に関する研究

村上 友梨\*1・北山 和宏\*2

**要旨:** 梁断面の主筋と PC 鋼材種の組合せを変数とした梁曲げ破壊型のプレストレスト鉄筋コンクリート十字形部分骨組を用いて、梁部材の耐震性能について検討した。接合部内中央での梁主筋の付着性状は、同じ梁主筋を使用した場合、PC 鋼材の付着性能に支配され、PC 鋼材の付着性能が悪い場合には梁主筋の付着強度が低下し、すべり量は増加した。また、梁の残留変形および残留ひび割れ幅においても梁主筋の付着性能にかかわらず PC 鋼材の付着性能に支配され、PC 鋼材の付着性能が良い場合には残留変形および残留ひび割れ幅は小さくなった。

**キーワード:** プレストレスト鉄筋コンクリート, 梁, 付着, 残留変形, 残留ひび割れ幅, 限界状態

## 1. はじめに

プレストレスト鉄筋コンクリート造建物の耐震設計は、終局強度型の設計法から、個々の部材および建物全体の地震時挙動の制御を可能とする性能評価型設計法へ移行しつつある。プレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)造の場合、断面内の鉄筋と PC 鋼材の配筋量が多岐に渡ることや、PC 鋼材周りの付着界面が PC 鋼材-グラウト-シース管-コンクリートといった複雑な構成になっているが故に付着性状の明確な把握がされていないなど、性能評価型設計法を確立する為の資料が十分に得られていない。

そこで本研究では、PC 鋼材とグラウト間の付着および梁主筋とコンクリート間の付着が柱梁骨組内の梁部材の力学特性に与える影響を調べるために、梁曲げ破壊型の十字形部分骨組に対し、付着性能の異なる梁主筋と PC 鋼材の組合せを変数として静的正負交番載荷実験を行い、梁部材の耐震性能のおよび各種限界状態を検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

図-1 に試験体形状を示し、表-1 に試験体諸元、表-2 に使用鋼材の材料特性を示す。柱梁接合部周辺の柱・梁主筋および PC 鋼材に貼付したひずみゲージ位置を図-1 の右下に示した。試験体は、平面十字形部分骨組 4 体で、柱断面を 350×350mm、梁断面を 250×400mm、柱芯から梁端支持点までを 1600mm、梁芯から上柱加力点および下柱支持点までをそれぞれ 1415mm、コンクリート強度、グラウト強度、柱主筋種類・本数は共通とし、梁曲げ破壊が先行するように設計した。試験体 DD-1, RD-2 および SD-3 は梁主筋

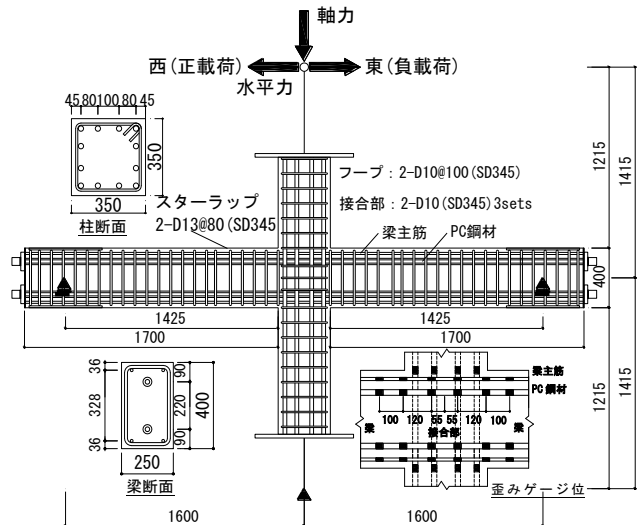


図-1 試験体形状 (単位: mm)

表-1 試験体諸元

試験体名	DD-1	RD-2	SD-3	DR-4
コンクリート圧縮強度	65.0MPa			
コンクリート割裂引張強度	4.1MPa			
グラウト圧縮強度	67.8MPa	65.4MPa	61.4MPa	64.9MPa
梁PC鋼材	22mm	21mm	17.8mm	22mm
	異形PC鋼棒	丸形PC鋼棒	PC鋼より線(19本)	異形PC鋼棒
シース管	#1042			
緊張力/規格降伏荷重	0.78	0.74	0.66	0.79
梁上下端主筋	2-D13 (SD295A)			2-φ13 (SS400)
プレストレスト率 $\lambda$ ※1	0.81	0.79	0.80	0.83
柱梁曲げ耐力比	2.7	2.9	2.8	2.8
梁主筋付着指標 $B_f$	0.54	0.54	0.54	
PC鋼材付着指標 $B_{1pt}$	0.49		2.04	0.49
共通因子	・軸力比(軸力) 0.1 (780kN) ・柱断面 350×350mm ・梁断面 250×400mm ・柱主筋 12-D22 (SD390) ・フープ 2-D10@100 (SD345) ・スターラップ 2-D13@80 (SD345)			

※1  $\lambda = M_p / (M_p + M_r)$ . ここで、 $M_p$ : 曲げ終局耐力におけるPC鋼材の負担分  
 $M_r$ : 曲げ終局耐力における普通鉄筋の負担分

表-2 使用鋼材材料特性

	径	規格	降伏強度 MPa	引張強度 MPa	降伏ひずみ %
PC鋼材	D22	B種1号	1010	1137	0.70
	φ 21	B種1号	990	1099	0.72
	φ 17.8	SWPR19N	1727	1943	0.89
鉄筋	D10	SD345	371	539	0.22
	D13	SD295A	362	510	0.20
	φ 13	SS400	305	436	0.15
	D13	SD345	370	571	0.22
	D22	SD390	455	661	0.23

\*PC鋼材の降伏応力度・降伏ひずみは0.2%オフセット法により定めた

\*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 博士前期課程 (学生会員)

\*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博 (正会員)

として異形鉄筋(D13, SD295A)を、試験体 DR-4 のみ丸鋼( $\phi 13$ , SS400)を使用した。試験体 DD-1 および DR-4 は PC 鋼材として異形 PC 鋼棒(22mm)を使用し、試験体 RD-2 は丸形 PC 鋼棒(21mm)、試験体 SD-3 は PC 鋼より線(19 本より 17.8mm)を使用した。試験体のプレストレス率 $\lambda$ は 0.79~0.83 である。表-1 内の柱梁曲げ耐力比は、梁断面の曲げ終局強度に対する柱断面の曲げ終局強度の節点での比であり、文献 1)では既往の鉄筋コンクリート造十字形試験体において柱梁曲げ耐力比が 2.6 以上の試験体では接合部破壊が見られないことから、梁曲げ破壊が生じるように柱梁曲げ耐力比は 2.7~2.9 において設計した。

表-1 内の梁主筋付着指標  $B_f$  は、文献 2)によって梁主筋の接合部パネル内での付着状況を表す指標として定められる。ここで付着指標  $B_f$  は、柱梁接合部内の梁主筋に沿って存在し得る仮想の最大付着応力度の付着強度に対する比である。PC 鋼材の付着指標  $B_{fpt}$  については田島ら<sup>3)</sup>の提案式を用いた。鉄筋および PC 鋼材ともに付着指標  $B_f$ ,  $B_{fpt}$  は、1.0 を閾値として 1.0 より大きければ付着劣化、1.0 以下では付着良好を示す。 $\phi 13$ ,  $\phi 21$  の丸鋼の付着指標  $B_f$ ,  $B_{fpt}$  は定義されないため空欄とした。

## 2.2 実験方法

図-2 に加力装置を示す。梁の両端はローラー支持、下柱はピン支持とし、上柱加力点に水平二方向、鉛直方向の 3 基のジャッキを取り付けた。南北方向のジャッキは面外転倒防止用である。柱に一定圧縮軸力(軸力比 0.1)を導入後、層間変形角 0.25% を 1 サイクル、0.5% を 2 サイクル、1・1.5・2・3・4% を 3 サイクルずつ繰り返し載荷した後、西方向(正)に 5% まで押切載荷した。ここで、上柱加力点で直接測定した層間変位を上柱加力点から下柱支持点までの距離で除したものを層間変形角とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 層せん断力-層間変形角

図-3 に層せん断力-層間変形角を示す。層せん断力は軸力による P- $\delta$  効果の補正を加えたものである。図中の□、○および◇はそれぞれ梁主筋降伏時、PC 鋼材降伏時および最大層せん断力時を示す。図中の水平の破線は梁の終局曲げモーメント精算式<sup>4)</sup>より求めた層せん断力の最大値である。試験体 DD-1 および RD-2 は層間変形角 3%、試験体 SD-3 および DR-4 は層間変形角 2% で最大層せん断力に達した。梁主筋に D13, PC 鋼材に D22 を使用した試験体 DD-1 は、最初は紡錘形の履歴を示し、最大層せん断力以降に梁のコンクリートの圧壊により耐力低下し、その後接合部の破壊が進展したことによって、層間変形角 4% 以降には逆 S 字形の履歴を描いた。

梁主筋に D13, PC 鋼材に付着が悪い  $\phi 21$ (丸鋼棒)およ

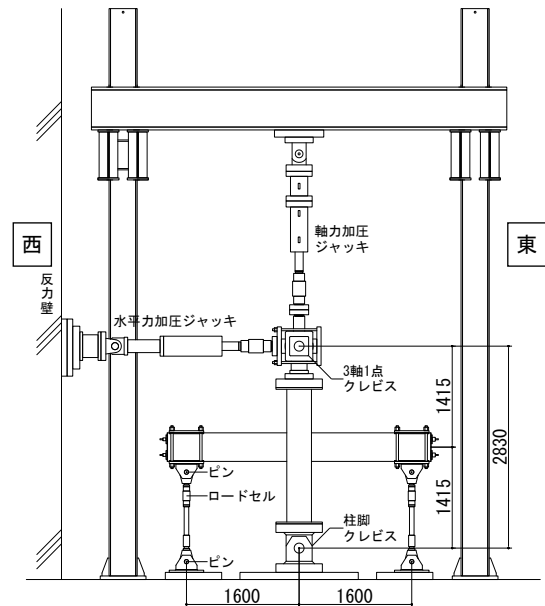


図-2 加力装置 (単位: mm)

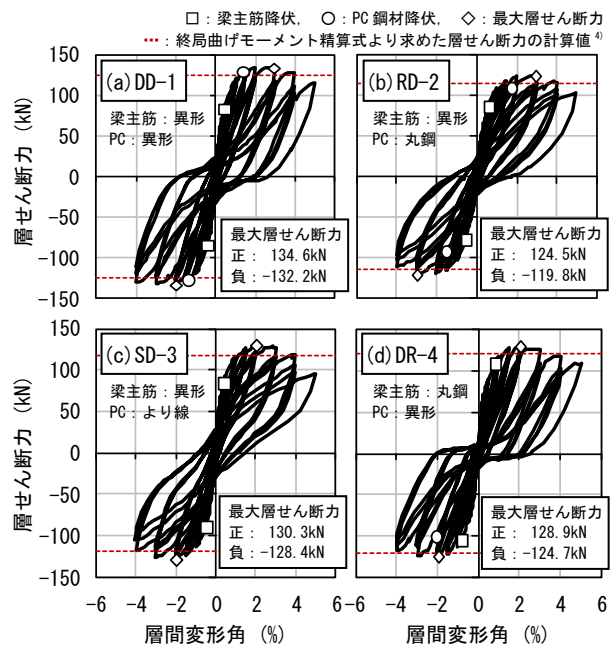


図-3 層せん断力-層間変形角

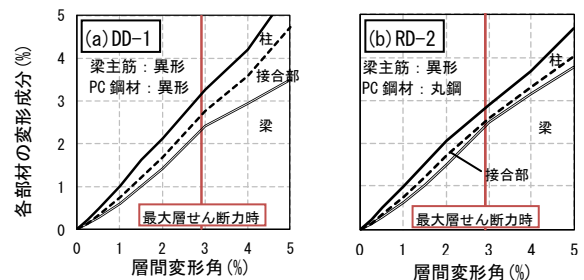


図-4 梁、柱および接合部パネルの変形成分

び  $\phi 17.8$ (19 本より線)を使用した試験体 RD-2 および SD-3 は、最初は原点指向型の履歴を描き、徐々に残留変形の少ない紡錘形の履歴へと変化した。梁主筋に  $\phi 13$ ,

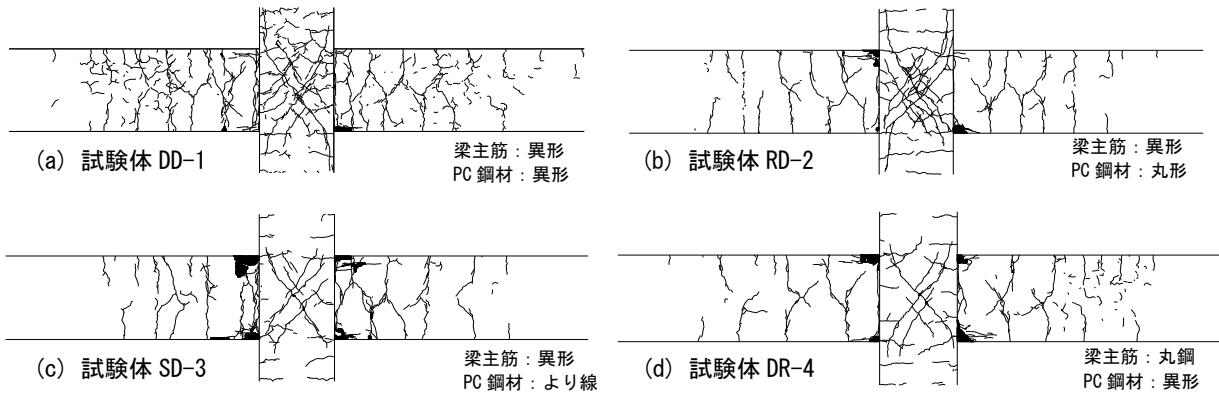


図-5 ひび割れ状況（層間変形角 3.0%時）

PC 鋼材に D22 を使用した試験体 DR-4 は主筋に沿った付着劣化が生じ、逆 S 字形の痩せたループを描いた。

### 3.2 柱、梁および柱梁接合部パネルの変形成分

図-4 に試験体 DD-1 および RD-2 の層間変位構成成分の推移を示す。他の 2 体は試験体 RD-2 と同様であった。梁の変形成分は梁たわみを梁スパンで除し、柱階高 (2830mm) を乗じて算出し、柱の変形成分は柱たわみから算出した。接合部の変形成分は接合部パネルの斜め方向の変位より接合部せん断変形角を求めて算出した。試験体 DD-1 は、最大層せん断力までは梁の変形割合が大きかったが、それ以後は柱梁接合部の割合が増加した。試験体 RD-2 では、梁の変形成分が全体の変形のほとんどを占めた。

### 3.3 破壊性状

図-5 に層間変形角 3.0% 時のひび割れ状況を示す。全試験体で梁に曲げひび割れが生じ、変形の増大とともにせん断ひび割れへと進展した。全試験体で、最大層せん断力時に梁の圧縮側のコンクリートの剥落が顕著となり、以降耐力低下が生じた。押切時の破壊性状は、梁付け根のコンクリート圧壊が最も激しかった。PC 鋼材に付着性能が悪い丸鋼棒を使用した試験体 RD-2 では梁主筋の座屈、より線を使用した試験体 SD-3 では梁主筋が座屈・破断した。試験体 DD-1, RD-2 および DR-4 の PC 鋼材は降伏した。試験体 SD-3 ではゲージの養生不良により PC 鋼材の降伏が確認できなかったが、最大層せん断力時に梁危険断面（柱面）から 100mm 離れた梁内で降伏直前のひずみを計測したことから、PC 鋼材は梁危険断面位置で降伏したと判断した。上述の変形成分とひび割れ性状から、全ての試験体を梁曲げ破壊と判断した。

### 3.4 梁部材の等価粘性減衰定数

図-6 に梁部材の等価粘性減衰定数  $heq$  と梁部材角との関係を示す。同一変形での繰り返し载荷の第 2 サイクル時の  $heq$  を用いた。梁主筋に付着性能が良い D13 を使用した試験体 DD-1, RD-2 および SD-3 の等価粘性減衰定数は PC 鋼材の付着性能の良否に関わらず同程度であ

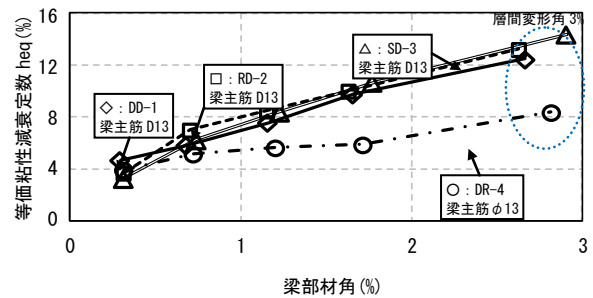


図-6 等価粘性減衰定数  $heq$ —梁部材角関係

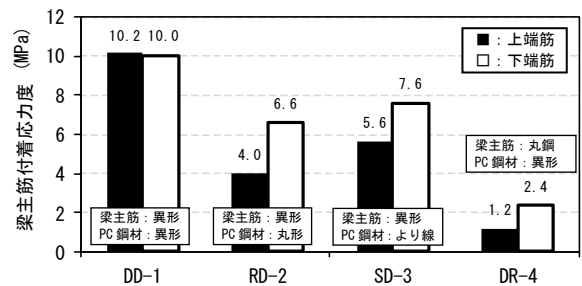


図-7 接合部内中央での梁主筋の付着応力度

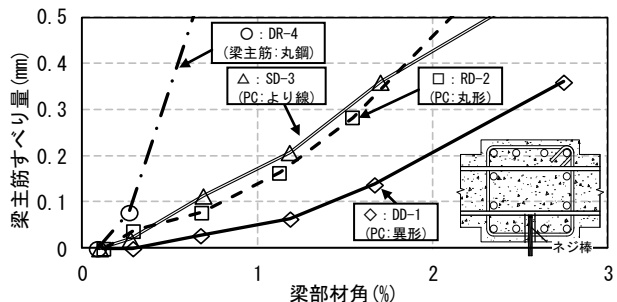


図-8 梁主筋すべり量—梁部材角

り、層間変形角 3.0% 時の等価粘性減衰定数は 12~15% であった。一方、梁主筋に付着性能が悪い  $\phi 13$  を使用した試験体 DR-4 では、PC 鋼材には異形鋼棒を使用したものの、層間変形角 3.0% 時の等価粘性減衰定数は 8.0% となり、他の 3 体の約 3/5 であった。これは、梁主筋の接合部パネル内での付着劣化により復元力特性が逆 S 字形の履歴ループとなったためである。

#### 4. 梁主筋の付着性状

##### 4.1 接合部内中央での梁主筋付着応力度

図-7 に接合部中央 1/3 区間 (区間長 110mm) の梁主筋の付着応力度を上端・下端筋ごとに示す。梁主筋の各区間両端に貼付した歪ゲージの出力を材料試験の結果に基づいて応力変換 (Ramberg-Osgood モデルを使用) し、各区間の引張力の差分を付着力とした。付着応力度は上端・下端筋ともに正負荷荷時の平均とした。試験体 DD-1, RD-2 および SD-3 では、梁主筋に共通の D13 を使用したにもかかわらず付着応力度に差が生じた。付着応力度は、PC 鋼材の付着性能が良い異形鋼棒を用いた試験体 DD-1 が最も大きく約 10MPa となり、次いで付着性能が悪いとされる 19 本より線を用いた試験体 SD-3 は 5.6~7.6MPa、丸鋼棒を用いた RD-2 は 4.0~6.6MPa となった。梁主筋に  $\phi 13$  を使用した試験体 DR-4 の付着応力度は、1.2~2.4MPa であった。

##### 4.2 梁主筋すべり量

図-8 に各載荷ピーク時における梁主筋のすべり量と梁部材角の関係を示す。ここで、梁主筋中央に溶接したネジ棒の直近のコンクリートに対する移動量をすべり量とした。梁主筋に付着性能が悪い  $\phi 13$  を使用した試験体 DR-4 のすべり量が最も大きかった。梁主筋に D13 を使用した試験体 DD-1, RD-2 および SD-3 では PC 鋼材の付着性能の良否によって 2 つに分類された。PC 鋼材の付着性能が良い異形鋼棒を使用した試験体 DD-1 のすべり量は最も小さく、付着性能が悪い試験体 RD-2 (丸鋼棒) および SD-3 (より線) の約半分であった。

##### 4.3 梁主筋の降伏領域

図-9 に梁主筋の降伏領域の推移を示す。梁主筋には梁危険断面から 2.5D (D: 梁せい) まで歪ゲージを貼付した。同じ梁主筋を用いた試験体 DD-1, RD-2 および SD-3 は PC 鋼材の付着性能の違いによって梁主筋の降伏進展に差が見られた。PC 鋼材の付着性能が良い試験体 DD-1 は梁主筋の降伏領域が 1.5D まで及んだのに対し、PC 鋼材の付着性能が悪い試験体 RD-2 および SD-3 の降伏領域は 1.0D となり狭かった。梁主筋に  $\phi 13$  を使用した試験体 DR-4 の降伏領域は 2.0D となり最も広範囲であった。

##### 4.4 PC 鋼材のひずみ分布

図-10 に試験体 DD-1 および SD-3 の層間変形角 1% 時の PC 鋼材ひずみ分布を示す。異形 PC 鋼棒を使用した試験体 DD-1 では引張側となる右柱面でのひずみが左柱面のそれよりも 4 倍程度大きく、柱梁接合部内で良好な付着を保持した。より線を使用した試験体 SD-3 では、左右の柱面での PC 鋼材のひずみはほぼ同程度であった。これは柱梁接合部内での付着劣化が生じたためである。(4 章のまとめ) 接合部内中央での梁主筋の付着性状は、梁主筋に D13 を使用した試験体 DD-1, RD-2 および SD-3

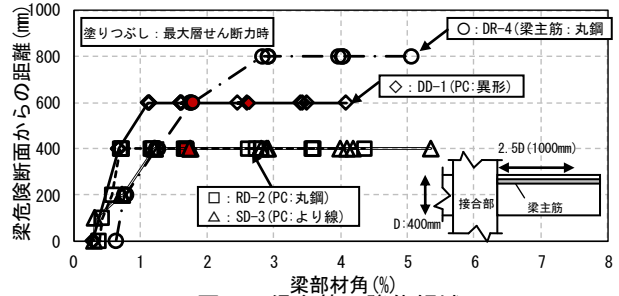


図-9 梁主筋の降伏領域

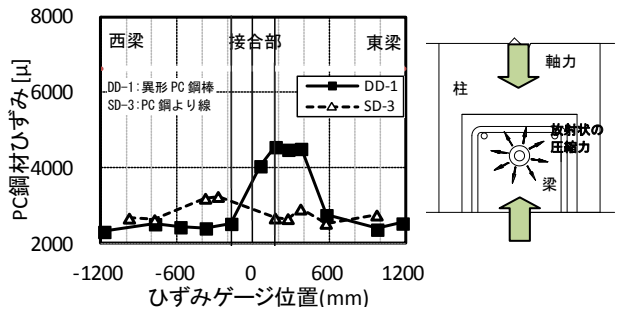


図-10 PC 鋼材のひずみ分布

図-11 梁主筋に作用する圧縮力

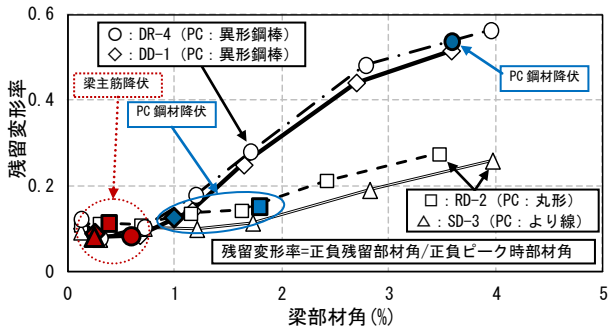


図-12 残留変形率—梁部材角

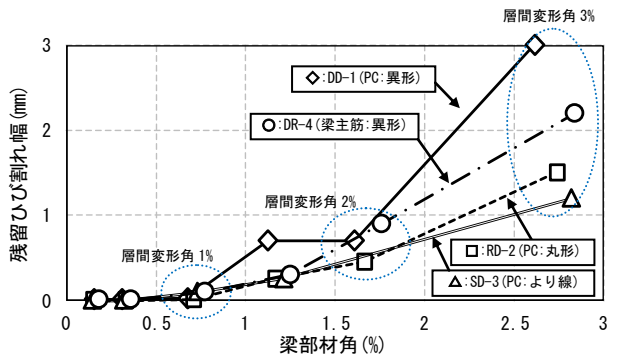


図-13 残留ひび割れ幅—載荷ピーク時梁部材角

では、PC 鋼材の付着性能に支配された。試験体 DD-1 は PC 鋼材の付着性能が良いため PC 鋼材—グラウト—シーす管が一体となって挙動し、シーす管表面での付着作用によってシーす管のフシからコンクリートへ作用する圧縮応力が発生したと考えられる。よってシーす管からコンクリートへと作用する圧縮力と柱軸力とが梁主筋周囲のコンクリートを拘束し、試験体 DD-1 の梁主筋の付着強度が大きくなったと考えられる(図-11 参照)。一方、

試験体 RD-2 および SD-3 は PC 鋼材の付着性能が悪いことによって PC 鋼材に沿った付着劣化が生じ PC 鋼材が周辺のグラウトに対して滑ったため、シーす管からコンクリートへ圧縮力が伝達せず梁主筋の付着強度が小さくなった。また梁主筋の付着強度が小さいことから、梁主筋の周辺コンクリートに対しすべり量が増加した。接合部パネル内の梁主筋の付着劣化により、ヒンジ部のコンクリートの圧壊が顕著になり、梁主筋の降伏領域が小さくなった。ただし、PC 鋼材すべり量を直接測定していないので、さらに詳細な検討を要す。

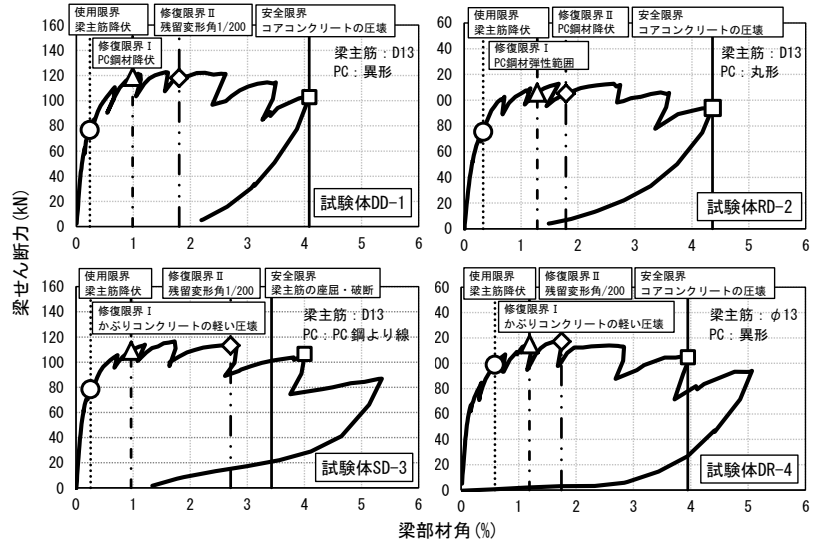


図-14 荷重—変形関係の包絡線と各種限界状態

5. 残留変形と残留ひび割れ幅

5.1 残留変形率

図-12 に梁の残留変形率と梁部材角との関係を示す。残留変形率は正負のピーク時梁部材角の和に対する正負の残留梁部材角の和の比とした。

梁主筋に丸鋼を使用した試験体 DR-4 では、梁主筋の降伏以降梁部材角の増加とともに残留変形率は増加した。一方、梁主筋に異形鉄筋を用いた試験体 DD-1 および RD-2 は、PC 鋼材の降伏以降梁部材角の増加とともに残留変形率が増加した。梁部材角 1.0%以降、PC 鋼材に付着が良い異形鋼棒を用いた試験体 DD-1 および DR-4 の残留変形率はほぼ同じように増加し最大梁部材角時に残留変形率は、0.5 となった。一方、PC 鋼材に付着が悪い丸鋼棒と 19 本より線を用いた試験体 RD-2 および SD-3 の残留変形率は、PC 鋼材に異形鋼棒を用いた体よりも小さく、大変形時にも 0.3 未満であった。

5.2 残留曲げひび割れ幅

図-13 に載荷ピーク時の梁部材角と除荷時の曲げひび割れ幅を示す。ここで、除荷して水平力が 0 となった時を除荷時とする。ひび割れ幅は、引張側コンクリート縁においてクラックスケールを用いて計測した。ひび割

表-3 各種限界状態決定要因と各事象発生時の梁部材角(%)

試験体名	項目	DD-1		RD-2		SD-3		DR-4	
		西梁	東梁	西梁	東梁	西梁	東梁	西梁	東梁
梁主筋	降伏	0.24	0.25	0.34	0.37	0.25	0.27	0.59	0.55
	産屈・破断	なし	なし	不明 <sup>※1</sup>	不明 <sup>※1</sup>	4.00	2.88	なし	なし
	弾性範囲	0.57	0.58	1.28	1.28	不明 <sup>※2</sup>	不明 <sup>※2</sup>	0.69	0.69
PC鋼材	PC鋼材降伏	0.99	0.98	1.79	1.52	不明 <sup>※2</sup>	不明 <sup>※2</sup>	1.84	1.87
	かぶりコンクリートの軽い圧壊	1.64	1.64	1.39	1.39	0.97	0.99	1.19	1.18
コンクリート	かぶりコンクリートの圧壊	2.68	2.47	2.20	1.94	2.82	2.32	2.78	2.78
	コアコンクリートの圧壊	4.08		4.36		3.42	3.47	3.95	3.93
残留変形角	1/400	1.36	1.36	1.63	1.81	1.94	1.92	1.31	1.30
	1/200	1.80	1.80	2.43	2.54	2.71	2.76	1.75	1.70
残留ひび割れ幅	0.2mm	0.91	0.97	0.79	0.65	0.87	0.90	0.85	0.78
	1.0mm	1.53	1.75	1.92	1.45	2.48	3.15	1.55	1.77
	2.0mm	1.87	2.39	不明 <sup>※3</sup>	3.50	不明 <sup>※3</sup>	3.82	2.14	2.82
限界状態決定要因	使用限界	梁主筋	梁主筋	梁主筋	梁主筋	梁主筋	梁主筋	梁主筋	梁主筋
	修復限界 I	PC鋼材	PC鋼材	PC鋼材	PC鋼材	コンクリート	コンクリート	コンクリート	コンクリート
	修復限界 II	残留変形角	残留変形角	PC鋼材降伏	PC鋼材降伏	残留変形角	コンクリート	残留変形角	残留変形角
	安全限界	コンクリート	コンクリート	コンクリート	コンクリート	コンクリート	梁主筋	コンクリート	コンクリート

※1 主筋の産屈が確認できたが、実験後に確認したので梁部材角が不明  
 ※2 ひずみゲージの養生不良により測定できなかったが、降伏と判断  
 ※3 コンクリートの剥落により計測できなかったが損傷状況から残留変形2.0mm以上に到達したと判断

表-4 各種限界状態を規定する損傷状況<sup>5)</sup>

各種限界状態	λ	具体的な損傷状態				残留変形角	残留ひび割れ幅
		普通鉄筋	PC鋼材		コンクリート		
使用限界	1~0.75	普通鉄筋	付着が良い	付着が悪い	一般の曲げ部材	ほぼゼロ	0.2mm程度以下
	0.75~0.5	降伏を許容	弾性範囲	弾性範囲	0.9σB以下 (14/15λ+0.2) σB以下		
	0.5以下	弾性範囲	耐力点以下	2/3σB以下			
修復限界 I	降伏を許容	僅かな降伏を許容	弾性範囲	軽微なかぶりコンクリートの圧壊	1/400程度以下	0.2mm~1mm程度以下	
修復限界 II	主筋が産屈しないこと	降伏を許容	0.2%オフセット耐力点以下	コアコンクリート部分が健全であること	1/200程度以下	1~2mm程度以下	
安全限界	圧縮筋の産屈・引張筋の破断	破断しないこと	降伏を許容	コアコンクリートに圧壊が生じないこと	-	-	

れ幅は PC 鋼材の付着性能に支配され、PC 鋼材の付着性能が良い試験体 DD-1 の残留ひび割れ幅は最も大きくなり、層間変形角 3.0%時では共通の梁主筋を使用した試験体 RD-2 および SD-3 の約 2 倍であった。

(5 章のまとめ) 残留変形および残留曲げひび割れ幅は PC 鋼材の付着性能によって支配され、付着性能が良いとこの両者は大きくなり、付着性能が悪いと小さくなった。梁部材のプレストレス率λは 0.8 であり、純 PC 造に近い構造であったことから、梁主筋の付着性能に関係なく PC 鋼材の付着性能によって残留変形率や残留曲げひび割れ幅の大小が決定された。PC 鋼材の付着性能が悪いと、PC 鋼材周りに付着劣化が生じ、復元力の原点指向性が高

まったことにより、残留変形および残留曲げひび割れ幅は小さくなった。

## 6. 梁部材の各種限界状態

図-14 に梁せん断力と梁部材角関係(包絡線)と各種限界状態、表-3 に各種限界状態時の梁部材角とその決定要因、表-4 に PC 梁部材の各種限界状態を規定する損傷状況<sup>5)</sup>を示す。表-4 において PC 鋼材の欄では、PC 鋼材に異形鋼棒を使用した試験体 DD-1 および DR-4 を「付着が良い」とし、丸鋼棒・より線を使用した試験体 RD-2 および SD-3 を「付着が悪い」とした。コンクリートの損傷状況の評価はそれぞれ、コンクリートに圧縮ひび割れが発生したときを「軽微なかぶりコンクリートの圧壊」、かぶりコンクリートの剥落を「コアコンクリート部分が健全であること」、圧縮側主筋までコンクリートが剥落したときを「コアコンクリートに圧壊が生じないこと」と判断した。残留ひび割れ幅以外の諸事象発生時の梁部材角は僅かではあるが正載荷と負載荷でばらつきがあったため正負の平均値とした(残留ひび割れ幅は正載荷時の値)。

梁主筋降伏時の梁部材角は、梁主筋に D13 を使用した試験体 DD-1、RD-2 および SD-3 は 0.24~0.37% となりほぼ同時期に発生したが、梁主筋に  $\phi 13$  を使用した DR-4 は 0.55~0.59% となり大きかった。梁主筋の座屈は試験体 RD-2 および SD-3 のみであり、破断に至った試験体は SD-3 のみであった。一方、PC 鋼材に同じ異形鋼棒を使用した試験体 DD-1 および DR-4 の PC 鋼材の弾性範囲時の梁部材角は 0.57~0.69% となりほぼ同時期であった。しかし、修復限界 1 を決定する PC 鋼材降伏時は DD-1 が梁部材角約 1.0% であるのに対し DR-4 では約 1.8% であった。残留変形角および残留ひび割れ幅は PC 鋼材の付着性能に支配され、付着が悪い試験体では諸事象発生時の梁部材角は大きかった。一方、PC 鋼材の付着性能が良いと限界状態を規定する残留変形角および残留ひび割れ幅の発生する部材角は小さくなった。

使用限界は全て「梁主筋の降伏」、修復限界 1 は「PC 鋼材の弾性範囲」「PC 鋼材の降伏」および「かぶりコンクリートの軽い圧壊」、修復限界 2 は「PC 鋼材の降伏」、「かぶりコンクリートの圧壊」および「残留変形角 1/200」、安全限界はほとんどが「コアコンクリートの圧壊」によって決定した。各種限界状態時の梁部材角は、使用限界は 0.24~0.59%、修復限界 1 は 0.97~1.28%、修復限界 2 は 1.70~2.71%、安全限界は 2.88~4.36% であった。

## 7. まとめ

付着性能の異なる梁主筋と PC 鋼材の組合せを変数とした PRC 柱梁十字形部分架構における実験から、梁部材

の耐震性能について以下の知見を得た。

- (1) 復元力特性の履歴ループの形状は梁主筋の付着性能によって支配され、梁主筋の付着が良い場合の履歴ループは紡錘形となったが、付着が悪い場合は梁主筋の付着劣化により、逆 S 字形の履歴ループとなった。梁主筋の座屈・破断は PC 鋼材の付着性能に依存し、付着が良い場合、これらは生じなかったが、付着が悪い場合には座屈・破断が見られた。
- (2) 接合部内中央での梁主筋の付着性状は、同じ梁主筋を使用した場合、PC 鋼材の付着性能に支配され、PC 鋼材の付着性能が悪い場合には梁主筋の付着強度が低下し、すべり量は増加した。
- (3) 梁の残留変形と残留曲げひび割れ幅は、PC 鋼材の付着性能に支配され、付着が良いほどこの両者は大きくなった。
- (4) 各種限界状態時の梁部材角は、使用限界は 0.24~0.59%、修復限界 1 は 0.97~1.28%、修復限界 2 は 1.70~2.71%、安全限界は 2.88~4.36% であった。

## 謝辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金・基盤研究 C により行った。本研究の実施にあたり、東京鐵鋼(株)から鉄筋の提供、住友電工スチールワイヤー(株)の鷹羽邦治氏に PC 鋼より線の提供・PC 緊張作業のご協力を頂いた。また、見波進先生(首都大学東京)にご指導・ご協力を頂いた。ここに記し謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 楠原 文雄, 塩原 等: 鉄筋コンクリート造柱梁接合部の終局強度に及ぼす設計因子の影響, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, pp.1398-1405, 2010.11
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説, 日本建築学会, pp.149-150, 2004.2
- 3) 田島 祐之, 北山 和宏: 梁曲げ破壊するプレストレスト鉄筋コンクリート構造の十字形部分架構における梁部材の等価粘性減衰定数, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, pp807-808, 2010.9
- 4) 日本建築学会: プレストレスト鉄筋コンクリート(III 種 PC)構造設計・施工指針・同解説, 日本建築学会, pp63-65, 2003.2
- 5) 日本建築学会: プレストレストコンクリート建築物性能設計・施工指針(案)制定に向けて, 日本建築学会大会 PD 資料, pp.24-40, 2011.8