

梁曲げ破壊型のスラブ付きプレストレスト鉄筋コンクリート骨組の耐震性能

(その1 実験概要)

プレストレスト鉄筋コンクリート スラブ 梁曲げ破壊  
十字形柱梁部分架構 直交梁 復元力特性

正会員 ○森口 佑紀 1\*  
同 島 哲也 2\*  
同 野中 翔太 3\*  
同 北山 和宏 4\*  
同 遠藤 俊貴 5\*

1. はじめに

現在のプレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)造建物の設計は「プレストレストコンクリート(PC)設計施工規準・同解説」<sup>1)</sup>以来の終局強度型設計であり、性能評価型設計への移行が課題である。性能評価型設計法を確立するためには、部材の耐震性能や各種限界状態(使用限界、修復限界および安全限界)を適切に把握する必要がある。しかし、PRC構造においては、断面に配する普通鉄筋とPC鋼材の量とその割合、および普通鉄筋とPC鋼材の材種の組み合わせが多岐にわたるため、性能評価型設計法を確立するための十分な資料は得られていない。

そこで本研究では、より実建物に近い状態を目指し、スラブおよび直交梁が骨組の耐震性能に与える影響を検討するため、PC鋼材の断面積とスラブおよび直交梁の有無を変数としたPRC柱梁十字形部分架構試験体に対して、静的載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1に試験体概要、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-2の左に示した。スラブおよび直交梁を有する試験体を含めた3体のPRC柱梁十字形部分架構試験体を作製し、既往研究<sup>2)</sup>より平面試験体RD-2を加えた計4体を用いて、比較検討を行った。試験体SS-1およびSS-2はスラブおよび直交梁を有し、試験体SP-3およびRD-2は平面十字形とした。各PC鋼材の配置は共通とし、種類は全て丸鋼で、試験体SS-1およびSP-3はφ11、試験体SS-2およびRD-2はφ21を用いた。梁幅を250mm、梁せいを400mm、柱断面を350mm×350mm、柱心から梁支持点までを1600mm、梁心から上柱加力点および下柱支持点までをそれぞれ1415mmとし、梁主筋およびせん断補強筋に使用する鉄筋は全試験体共通とした。柱主筋は、試験体RD-2のみSD390とし、その他はSD490とした。楠原ら<sup>3)</sup>によると、柱梁曲げ耐力比が2.5以上では接合部破壊を生じなかったことから、すべての試験体において柱梁曲げ耐力比は2.5以上とし、梁曲げ破壊型の試験体となるように設計した。

2.2 実験方法

図-2の右に加力装置を示す。試験体の梁の両端はローラー支持、下柱はピン支持とし、柱頭の加力点に鉛直方向・東西方向・南北方向の3基のジャッキを取り付け

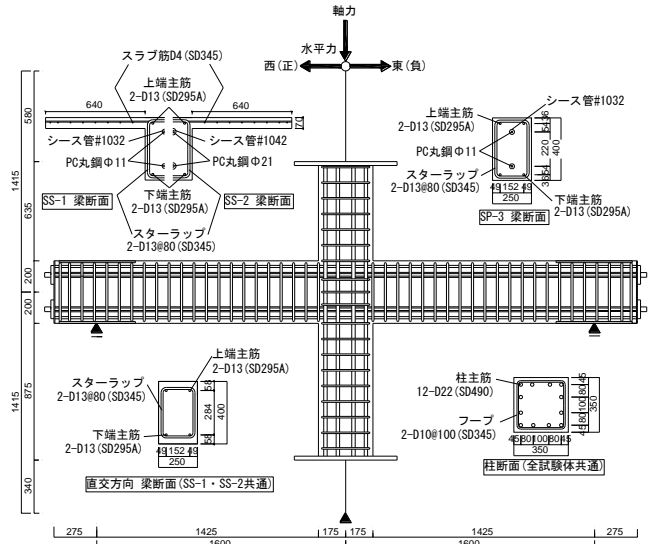


図-1 試験体概要(単位:mm)

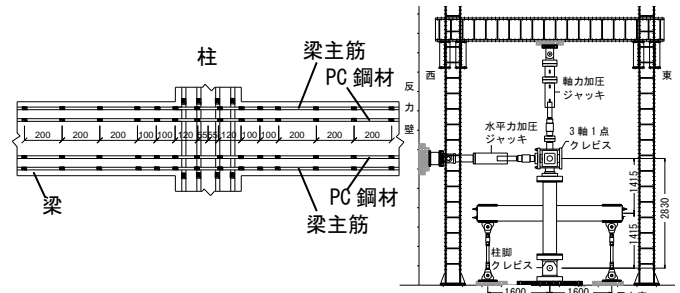


図-2 ひずみゲージ貼付位置および加力装置(単位:mm)

表-1 試験体諸元

試験体名	SS-1	SS-2	SP-3	RD-2 <sup>2)</sup>	
試験体形状	立体(スラブおよび直交梁付き)		平面		
コンクリート	84.6	81.2	84.6	65.0	
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	84.6	81.2	84.6	65.0	
グラウト	74.5	71.4	74.5	65.4	
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	74.5	71.4	74.5	65.4	
梁	幅×せい 250mm×400mm				
	幅×せい(直交方向) 250mm×400mm				
	上下端主筋 2-D13(SD295A)				
	PC鋼材	2-φ 11(B種1号)	2-φ 21(B種1号)	2-φ 11(B種1号)	2-φ 21(B種1号)
	シース管	#1032	#1042	#1032	#1042
柱	幅×せい 350mm×350mm				
	全主筋	12-D22(SD490)		12-D22(SD390)	
	フープ	D10(SD345)@100			
スラブ	厚さ 70mm				
	スラブ配筋 D4(SD295A)@80				
柱梁曲げ耐力比※1	5.4	2.5	6.3	2.9	
プレストレスト率λ※2	0.39 (上端引張時)		0.69 (上端引張時)		
	0.56 (下端引張時)		0.82 (下端引張時)		
	0.54		0.79		
	0.54		0.79		

※1 柱梁曲げ耐力比は梁断面の最大耐力に対する柱断面の最大耐力の節点での比

※2 λ=Mp/(Mp+Mr)、ここで Mp:最大耐力におけるPC鋼材の曲げモーメントの負担分、Mr:最大耐力における主筋の曲げモーメントの負担分

た。柱に一定の圧縮軸力(780kN)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、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0%を3サイクルずつ繰り返し繰り返し載荷した後、正(西)方向に5.0%まで押切載荷した。試験体 SS-1 および SP-3 においては、層間変形角 4.0%で正(西)方向に押切載荷した。ここで、層間変形角は頂部加力点の水平変位を頂部加力点から下柱支持点までの距離で除した値とした。

### 3. 実験結果

#### 3.1 層せん断力-層間変形角関係

図-3に層せん断力-層間変形角関係を示す。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, PC 鋼材降伏, 最大層せん断力, 上端のかぶりコンクリート圧壊時, 下端のかぶりコンクリート圧壊時および主筋破断を示す。ここで、かぶりコンクリートの圧壊は、材軸に平行な圧縮ひび割れ発生時とし、目視により判断した。図中の水平の点線は梁の終局曲げモーメント略算式<sup>1)</sup>より求めた最大層せん断力である。ここで、立体試験体 SS-1 および SS-2 においては、全幅のスラブ筋を有効とした。最大層せん断力は、試験体 SS-1 および SP-3 では層間変形角 1.5% 時、試験体 SS-2 では同 2.0% 時、試験体 RD-2 では同 3.0% 時に到達した。PC 鋼材に  $\phi 21$  を使用した試験体 SS-2 および RD-2 は、層間変形角 1.5~2.0% 時まで原点指向型の履歴で、変形とともに紡錘形の履歴形状を示した。一方、PC 鋼材に  $\phi 11$  を使用した試験体 SS-1 および SP-3 は層間変形角 0.5% 時まで原点指向型の履歴で、それ以降は試験体 SS-2 および RD-2 と同様に紡錘形の履歴形状を示した。正載荷時において、立体試験体 SS-1 では、層間変形角 1.0% 時に下端のかぶりコンクリートが圧壊し、その後同 2.0% 時に上端のかぶりコンクリートが圧壊した。立体試験体 SS-2 では、層間変形角 2.0% 時に上端および下端のかぶりコンクリートが圧壊した。また、全試験体で最大層せん断力の実験値は正負ともに計算値を上回り、計算値との差は 1.2 倍以内であった。

#### 3.2 破壊性状

梁主筋の降伏後、立体試験体 SS-1、平面試験体 SP-3 および RD-2 では PC 鋼材が降伏した後に最大耐力に達し、立体試験体 SS-2 では PC 鋼材の降伏と同時に最大耐力に達した。最大耐力以降は試験体 SS-1、SS-2 および SP-3 では、梁主筋の座屈・破断により耐力低下に至り、最終的に梁危険断面付近のコンクリートが激しく圧壊した。その際、梁上端のコンクリートの圧壊は立体試験体 SS-1 の方が平面試験体 SP-3 より層間変形角の大きい時に発生した。試験体 RD-2 では梁主筋の座屈のみ発生し、梁危険断面付近のコンクリートが圧壊した。主筋の座屈・破断は試験体 SS-2 および SP-3 では上端・下端ともに確認でき、試験体 SS-1 では下端のみ確認できた。スラブ筋の破断は試験体 SS-1 および SS-2 の両方で確認できた。

表-2 使用鋼材の材料特性

	径	規格	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張り強さ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (%)
鉄筋	D4 <sup>※3</sup>	SD295A	367	858	165	0.42
	D10	SD345	419	711	179	0.24
	D13	SD295A	376	584	181	0.21
	D13	SD345	379	626	184	0.21
	D22	SD490	549	724	190	0.29
	D22	SD390	455	661	198	0.23
PC鋼材 <sup>※3</sup>	$\phi 11$	B種1号	1089	1148	187	0.78
	$\phi 22$	B種1号	1000	1115	187	0.74

※3 鉄筋 D4 と PC 鋼材の降伏点は 0.2% オフセット法により定めた

※4 試験体 RD-2 は除く

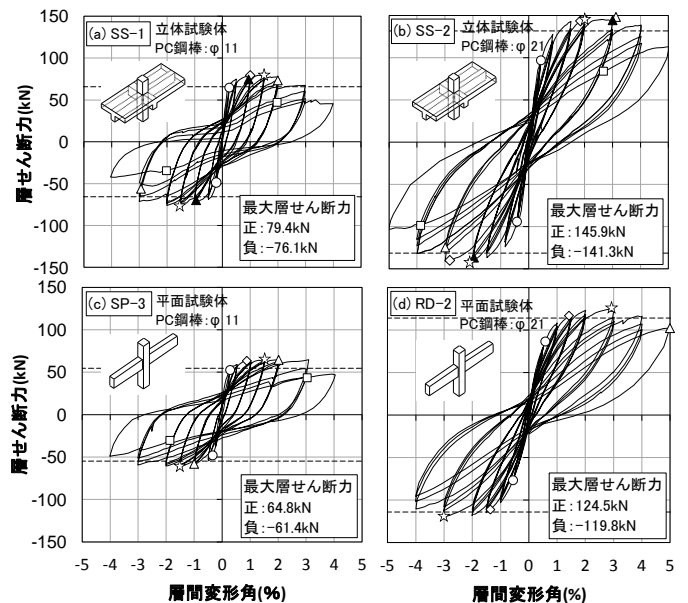


図-3 層せん断力-層間変形角関係

#### 4. まとめ

スラブの有無と PC 鋼材の径の組み合わせを変数とした PRC 柱梁十字形部分架構の静的載荷実験を実施し、曲げ破壊する梁部材の耐震性能について以下の知見を得た。

- (1) PC 鋼材に  $\phi 21$  を使用した試験体 SS-2 および RD-2 では、層間変形角 1.5~2.0% 時まで、PC 鋼材に  $\phi 11$  を使用した試験体 SS-1 および SP-3 では、層間変形角 0.5% 時まで、原点指向型の履歴ループを描き、その後紡錘形の履歴ループを描いた。
- (2) 立体試験体 SS-1 では、層間変形角 1.0% 時に下端のかぶりコンクリートが圧壊し、その後層間変形角 2.0% 時に上端のかぶりコンクリートが圧壊した。立体試験体 SS-2 では、層間変形角 3.0% 時に上端および下端のかぶりコンクリートが圧壊した。
- (3) 最大層せん断力の実験値は略算による最大耐力の 1.0~1.2 倍の範囲にあった。

#### 参考文献

- 1) 北山和宏, 溝口茂, 岸本一蔵, 河野進, 岸田慎司, 菅田昌宏: 3. 部材性能評価法, 日本建築学会大会 PC 部門パネルディスカッション「プレストレストコンクリート(PC)建築物性能設計・施工指針(案) 制定に向けて」資料, pp.24-40, 2011年8月.
- 2) 村上友梨, 北山和宏: 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, コンクリート工学年次論文報告集, 第34巻, 第2号, pp.451-456, 2012年7月.
- 3) 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年11月.

\*1 東京工業大学 大学院生

\*2 首都大学東京 大学院生

\*3 東京大学 大学院生

\*4 首都大学東京 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博

\*5 首都大学東京 都市環境科学研究科建築学域 助教 博士(工学)

\*1 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology.

\*2 Graduate Student, Tokyo Metropolitan University.

\*3 Graduate Student, The University of Tokyo.

\*4 Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.

\*5 Assistant Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.