

# 鉛直打継目を有する高強度コンクリート PPC 梁の曲げおよびせん断性状

李 春鶴\*1・辻 幸和\*2

In the present study, it presents some results of the experimental investigation of the flexural and shearing behaviors of partially prestressed concrete (PPC) beams using high strength concrete compared with the normal strength concrete PPC beams. The bending moment when the width of the maximum crack reached at 0.2 mm was increased according to an increase in concrete strength and the amount of the prestress of PPC beams, respectively. Moreover, flexural cracking width of the high strength concrete PPC beam was possibly decreased in a case of small ratio of reinforcement PPC beam. However, even if the high-strength concrete was used for different ratio of reinforcement in the PPC beam, the flexural cracking width could hardly be decreased. If a vertical joint treatment is bad, shearing cracks are occurred significantly after slippage of the joint and a brittle type shearing compression failure is led even if 70 N/mm<sup>2</sup> class high strength concrete is used in a PPC beam.

Key words : High strength concrete, Vertical construction joint, Flexural behavior, Shearing behavior

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造 (RC) の弱点である載荷によるひび割れ幅を制御することを主目的に、また、一時的にひび割れが生じても除荷後にひび割れが閉じること、およびスパンを大きく採れることなどの理由から、パーシャルプレストレストコンクリート構造 (PPC) が多方面において採用されている。また近年では、大規模なまた長大な構造物にも PPC が適用されてきている。

コンクリート構造物の長大化が進んでいるが、施工設備、施工能力、温度ひび割れの制御等の観点から、コンクリートを連続して打ち込んで、一度に構造物を建造することは困難であり、鉛直打継目の設置が避けられなくなってきている。鉛直打継目がコンクリート部材<sup>1)</sup>、鉄筋コンクリート (RC) 梁<sup>2)</sup>、PPC 梁<sup>3), 4)</sup> の力学的性状に及ぼす影響については、これまで報告してきた。また、鉛直打継目を有する高強度コンクリートを用いた PPC 梁の曲げひび割れ性状については、すでに一部報告している<sup>5)</sup> が、せん断性状を含めた PPC 梁の力学的性状についての検討は行っていない。

本研究では、鉛直打継目の位置とその処理方法、引張鉄筋の使用量、プレストレスの導入量、PC グラウトの品質を主な要因にとり、普通コンクリートを用いた PPC 梁と比較検討することで、高強度コンクリートを用いた鉛直打継目を有する PPC 梁の力学的性状を曲げ性状だけでなくせん断性状を含めて報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 梁供試体

図 - 1 には、梁供試体の形状・寸法および鉄筋と PC 鋼

棒の配置を示す。

実験は、2 シリーズに分けて行った。シリーズ A の梁の断面は、幅が 300 mm、高さが 600 mm の矩形断面である。全長が 3 600 mm で、スパン長が 3 000 mm の対称 2 点集中荷重を受ける単純梁である。曲げモーメント一定区間は 600 mm とした。

引張鉄筋には下面の引張縁から 50 mm の位置に 5 本の D13 を、圧縮鉄筋には圧縮縁から 50 mm の位置に 2 本の D13 をそれぞれ配置した。スターラップは D6 を用い、梁の端部から支点までは 100 mm の間隔で 3 本配置した。1 200 mm のせん断スパンには、100 mm 間隔で 4 本とそれに続いて載荷点側に 200 mm 間隔で 4 本を順次配置した。

シリーズ B の梁は、断面の形状・寸法はシリーズ A と同じであるが、全長が 4 800 mm、スパン長が 4 200 mm と長いものである。

引張鉄筋は下面の引張縁から 50 mm の位置に呼び名を D13、D19、D25 の 3 種類に変えてそれぞれ 5 本を配置し、圧縮鉄筋は上面圧縮縁から 50 mm の位置に呼び名 D13 を 2 本配置した。スターラップには D6 を用い、梁の端部から支点までは 100 mm の間隔で 3 本配置し、それに続き、支点から 350 mm の区間には 100 mm 間隔で、それから載荷側 1 000 mm の区間には 200 mm 間隔で配置した。

また、シリーズ A およびシリーズ B の梁はともに、下面から 150 mm の位置に呼び径 30 mm のシースを 2 本配置し、コンクリートの打込み後シース内にて Φ 13 の PC 鋼棒を緊張し、PC グラウトの充てんを経て、載荷試験に供した。

供試体の養生は、シリーズ A、B ともに、材齢 1 日まで蒸気養生を行い、それ以降は気中養生をした。その後、材齢 57 日において、プレストレスを導入し、その後、大約

\*1 Chunhe LI : 群馬大学大学院 工学研究科 社会環境デザイン工学専攻 助教

\*2 Yukikazu TSUJI : 群馬大学大学院 工学研究科 社会環境デザイン工学専攻 教授

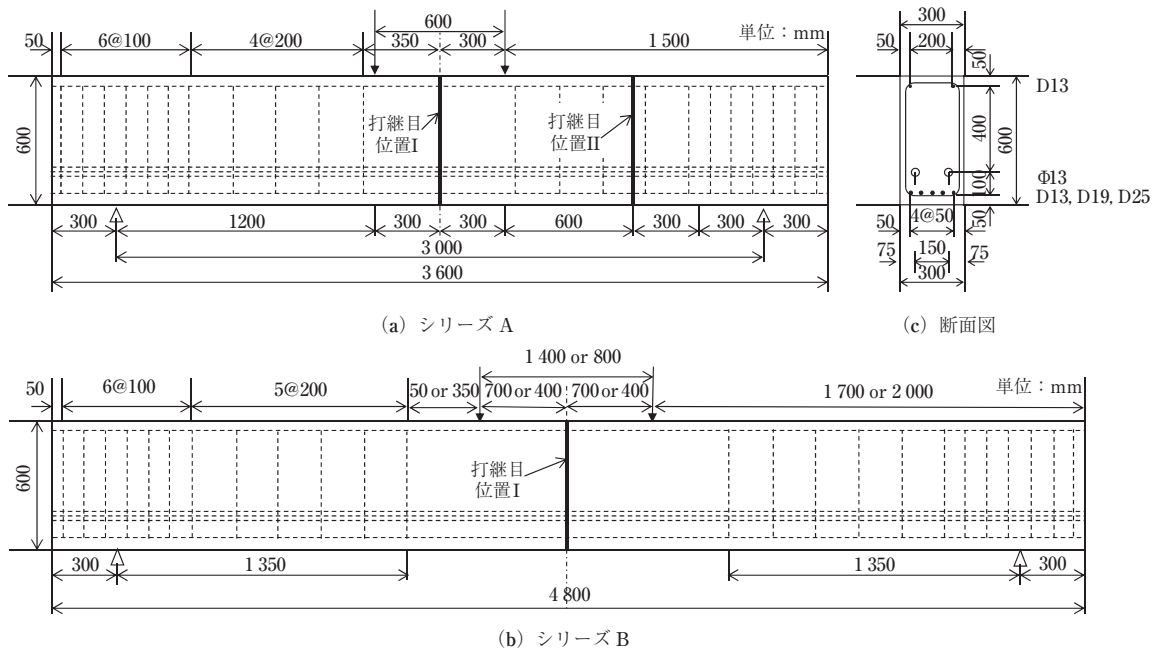


図 - 1 梁供試体の形状・寸法と載荷方法

表 - 1 供試体の諸元

シリーズ	供試体名	コンクリートの設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	PC グラウトの目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張鉄筋	引張鉄筋比 (%)	打継目位置	打継目処理方法	せん断スパン <i>a</i> (mm)	<i>a/d</i>	載荷点距離 (mm)		
A	HO-40a	70	40	D13	0.38	無	-	1 200	2.18	600		
	HGI-40a					I	G					
	HGI-40b					II					B	
	HGII-20a						G				B	
	HGII-40a					G						B
	HGII-60a						G				B	
	HBII-20a					G						B
	HGII-40b						G				B	
	HBII-60b					G						B
	HBII-40a						G				B	
	NO-40a	35	40	D13	0.38	無		-	1 200	2.18		600
	NGI-20a					I	G					
	NBI-20a					II		B				
	NGII-20a						G	B				
	NGII-40a					G					B	
	NGII-60a						G	B				
NBII-20a	G	B										
NGII-40b			G	B								
NGII-60b	G	B										
B			HO-D13	70	40	D13	0.38	無	-	1 400	2.55	1 400
	HO-D19	D19	0.87									
	HO-D25											
	HGI-D13	I	B									
	HGI-D25											
	NO-D13	40	40	D13	0.38	無	-	1 400	2.55	1 400		
	NO-D19										D19	0.87
	NO-D25											
	NGI-D13										I	G
	NGI-D25											

材齢が3 ヶ月において載荷試験を実施した。

梁供試体の諸元を表 - 1 に示す。シリーズ A では、鉛直打継目の位置とその処理方法、PC グラウトの品質、プレストレスの導入量を要因とし、計 19 体の供試体を作製

した。シリーズ B では、打継目の有無、引張鉄筋の使用量を要因とし、計 10 体の供試体を作製した。梁供試体名の前半部分の英文字は、シリーズ A およびシリーズ B の梁はともに、順次コンクリートの強度（高強度コンクリー

表 - 2 結合材の物性値

結合材	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)
普通ポルトランドセメント	3.16	3 320
早強ポルトランドセメント	3.14	4 510
高炉スラグ微粉末 GN	2.88	4 230
高炉スラグ微粉末 GS		6 250

表 - 3 コンクリートの示方配合および載荷時の圧縮強度

シリーズ	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	セメント種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						載荷時の圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
							セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	AE 剤	
A	70	早強	20	12 ± 2.5	33.0	42.0	482	157	730	1 040	4.82	1.93	71.0
	35	普通	25	8 ± 2.5	50.5	44.8	309	156	820	1 014	3.71	3.71	35.1
B	70	早強	20	12 ± 2.5	30.7	40.0	508	156	680	1 080	5.59	1.02	79.5
	40	普通	20	12 ± 2.5	56.2	44.0	283	157	830	1 120	2.83	1.13	47.1

表 - 4 PC グラウトの配合および圧縮強度

シリーズ	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	W/B (%)	PCグラウト用混和剤の添加率 (%)	高性能 AE 減水剤の添加率 (%)	1 パッチあたりの質量 (g)						材齢 28 日の圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
					水	結合材		PCグラウト用混和剤		高性能 AE 減水剤		
						セメント	高炉スラグ微粉末	量	種類			量
A	20	65	2.0	0	16 250	12 500	12 500	GN	500	CEBEX	0	19.6
								GS				19.4
	40	45	1.0	0	11 250			GN	250	GF	0	38.4
		40	0.7	0.3	12 500			GS	175	CEBEX	75	39.5
	60	35	0.5	1.0	8 750			GN	125	GF	250	50.5
								GS	250	GF	0	51.6
B	40	43	1.0	0	10 750	GS	250	GF	0	51.6		

表 - 5 鉄筋および PC 鋼棒の力学的特性

シリーズ	鋼材種類	呼び名	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
A	圧縮鉄筋	D13	191	384	588
	引張鉄筋				
	スターラップ	D6	178	369	562
	PC 鋼棒	Φ 13	199	1 370	1 467
B	圧縮鉄筋	D13	190	364	515
	引張鉄筋	D19	192	403	564
		D25	187	390	557
		スターラップ	D6	187	374
	PC 鋼棒	Φ 13	199	1 370	1 467

トは H、普通強度コンクリートは N で示す)、打継目の有無 (打継目無しは O、打継目有りは G あるいは B で示す) とその位置 (梁の中央断面は I で、せん断スパンの中央断面は II で示す) を示す。

シリーズ A の場合、後半部分の数字と英文字は、それぞれ PC グラウトの目標強度 (圧縮強度 20 N/mm<sup>2</sup>, 40 N/mm<sup>2</sup>, 60 N/mm<sup>2</sup> を、それぞれ 20, 40, 60 で示す) とプレストレス導入量 (緊張力が、PC 鋼棒の耐力規格値の 80 % は a、60 % は b で示す) を示す。シリーズ B の場合、後半部分の英数は、引張鉄筋の呼び名を表す。シリーズ B のすべての供試体の PC グラウトの目標強度は、40 N/mm<sup>2</sup> であり、プレストレス導入量は、PC 鋼棒の耐力規格値の 80 % である。耐力規格値の 80 % まで大きなプレストレスの導入量を採用したのは、プレストレスの及ぼす影響を顕

著に反映させるためである。なお、導入量 a および b は、コンクリート下縁に導入されたプレストレスが、それぞれ 2.8 N/mm<sup>2</sup> および 2.1 N/mm<sup>2</sup> である。これらのプレストレスは、曲げモーメントの作用で 0 となるいわゆるデコンプレッションモーメントでは、それぞれ 52.0 kN・m および 39.0 kN・m に相当する。

## 2.2 使用材料

表 - 2 にコンクリートおよび PC グラウトに使用した結合材の物性値を示す。本研究では、普通と早強の 2 種類のポルトランドセメントと比表面積が異なる 2 種類の高炉スラグ微粉末を使用した。

表 - 3 に使用したコンクリートの示方配合と載荷時の圧縮強度を示す。コンクリートは設計基準強度が、両シリーズとも 70 N/mm<sup>2</sup> の高強度のものと、シリーズ A は 35



(a) 打継目処理 G (b) 打継目処理 B  
写真 - 1 打継目の処理方法



写真 - 2 載荷状況

N/mm<sup>2</sup>, シリーズ B は 40 N/mm<sup>2</sup> の普通強度のものを使用した。載荷試験時の圧縮強度は, シリーズ A の高強度は 71.0 N/mm<sup>2</sup>, 普通強度は 35.1 N/mm<sup>2</sup> であり, シリーズ B の高強度は 79.5 N/mm<sup>2</sup>, 普通強度は 47.1 N/mm<sup>2</sup> であった。

表 - 4 には, 使用した PC グラウトの配合および圧縮強度を示す。1 パッチとしては約 20 L の練混ぜ量とした。PC グラウトの品質は, 目標強度を 20 N/mm<sup>2</sup>, 40 N/mm<sup>2</sup>, 60 N/mm<sup>2</sup> の 3 種類とした。PC グラウトの材齢 28 日の圧縮強度は, シリーズ A の場合, 平均して 19.5 N/mm<sup>2</sup>, 39.0 N/mm<sup>2</sup>, 50.5 N/mm<sup>2</sup>, シリーズ B の場合 51.6 N/mm<sup>2</sup> であった。シリーズ A では目標設計基準強度が 60 N/mm<sup>2</sup> の場合, 設定する W/B を小さくできなかったため, 約 10 N/mm<sup>2</sup> 低下した。ここでは, 比表面積が異なる 2 種類の高炉スラグ微粉末を, 主成分が異なる 2 種類の PC グラウト用混和剤 (ブリーディング防止タイプを, CEBEX で示す。ノンブリーディング高粘性タイプを, GF で示す) を使用し, それらを組み合わせて, PC グラウトを作製した。既往の研究<sup>6)</sup>によると, 高炉スラグ微粉末の比表面積および PC グラウト用混和剤の組合せにより, 流動性, ブリーディング率, 収縮率にそれぞれ差が生じるものの, 本配合では, そのフレッシュ性状が品質基準<sup>7)</sup>を満たしていた。そのため, PC グラウトの配合と材料が高強度コンクリートを用いた PPC 梁供試体の構造的挙動へ及ぼす影響はほとんど無いとみなした。

表 - 5 には, 使用した鉄筋および PC 鋼棒の力学的特性を示す。シリーズ A は, 全部の供試体の引張鉄筋の呼び

名は D13 であり, シリーズ B は, 供試体ごとに引張鉄筋の呼び名が異なる計 3 種類の引張鉄筋を用いた。また, シリーズ A およびシリーズ B ともに, PC 鋼棒には SBPR930/1080 を使用した。

### 2.3 打継目の処理方法

図 - 1 に示すように, シリーズ A の場合, 打継目無し, 打継目を梁の中央断面に設けたものおよび梁のせん断スパン中央断面に設けたものの計 3 種類とした。シリーズ B は, 打継目無しと打継目を梁の中央断面に設けたものの計 2 種類とした。写真 - 1 には, 打継目処理後の断面の状態を示す。打継目は, その処理方法により 2 種類に分けた。コンクリートが接する型枠表面に遅延剤を塗布して, コンクリートを打ち込み, 脱型後粗骨材の凹凸が見える程度に洗い出したもの (G で示す), 遅延剤を用いずに脱型後の表面をワイヤブラシで水とともに洗ったもの (B で示す) である。

### 2.4 載荷方法

写真 - 2 は, 載荷状況を示す。載荷方法は, シリーズ A では, 支点間距離を 3 000 mm, 載荷点距離を 600 mm と統一した。シリーズ B では, 支点間距離は 4 200 mm と一定であるが, 載荷装置の容量の制限により載荷点間距離が, 引張鉄筋の呼び名が D13, D19 の供試体の場合は 1 400 mm, 引張鉄筋の呼び名が D25 の供試体の場合は 800 mm とした。載荷速度はいずれの供試体でも 10 kN/min の荷重制御で行った。鋼材が降伏し, 一般に供試体の最大耐力を確認した後, コンクリートの圧縮縁の圧壊に至る, いわゆる静的漸増載荷試験とした。

測定項目は, 荷重, 引張鉄筋ひずみ, コンクリートの曲げひび割れ幅とした。曲げひび割れ幅は, 曲げモーメント一定区間の引張鉄筋位置と PC 鋼棒の位置となる梁側面部に, 測定長が 100 mm の  $\pi$  型変位計を用いて測定した。引張鉄筋は, 長さが 6 mm のワイヤーストレインゲージによりデータロガーを介してひずみを測定し, 記録を行った。また, コンクリートの圧縮縁ひずみは曲げモーメント一定区間の中央位置で, 引張縁ひずみは曲げモーメント一定区間全体および打継目位置で, ゲージ長が 60 mm のワイヤーストレインゲージによりそれぞれ測定した。

## 3. 曲げひび割れ発生モーメント

図 - 2 および図 - 3 に, シリーズ A およびシリーズ B の曲げひび割れ発生モーメントをそれぞれ示す。図 - 2 に示す供試体は, シリーズ A のプレストレス導入量が PC 鋼棒の耐力規格値の 80 % のものである。図 - 2 に示すように, 供試体の梁中央断面の I 断面に打継目を設けた梁は, 一体型供試体と比較して曲げひび割れ発生モーメントが小さくなった。また, 曲げモーメント一定区間に比べ, 作用曲げモーメントが 1/2 となるせん断スパンの中央の II 断面に打継目を設けた梁は, 打継目の処理が悪い B においてのみ, 打継目に最初に曲げひび割れが発生した。これは, 打継目部分でのコンクリートの接着強度が著しく小さいためである。そして, II 断面の打継目の処理に遅延剤を用いることにより, 一般に曲げひび割れ発生モーメントの

低減が緩和され、曲げモーメント一定区間に最初のひび割れが発生することが確かめられた。

高強度コンクリートを用いたHシリーズの曲げひび割れ発生モーメントは、普通強度のコンクリートを用いたNシリーズと比較すると、いずれのケースにおいても大きくなることも確かめられた。

シリーズBでは、図-3に示すように、コンクリートを高強度としても、曲げひび割れ発生モーメントの増加が、シリーズAほど顕著ではないことが認められる。そして、呼び名D19の引張鉄筋を配置した梁では、曲げひび割れが普通強度コンクリートを用いた梁よりも少し小さくなっている。実験値のばらつきが考えられるが、高強度コンクリートの自己収縮が鉄筋により拘束されて引張応力が生じた悪影響が大きく出たことも考えられる。

曲げひび割れ発生モーメントに関しては、打継目が及ぼす影響がコンクリート強度および鉄筋径（引張鉄筋比）の影響よりも大きいことが認められる。

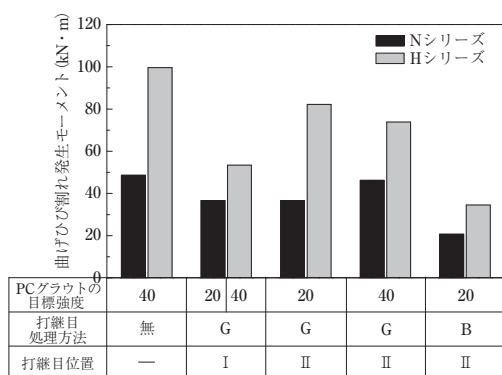


図-2 曲げひび割れ発生モーメント (シリーズA)

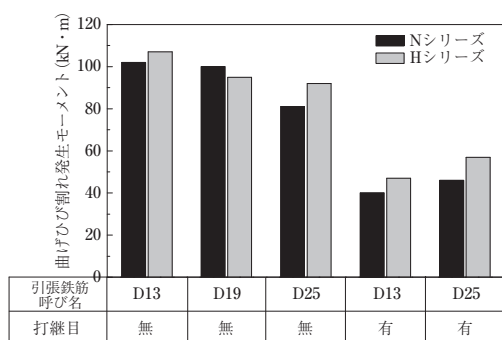
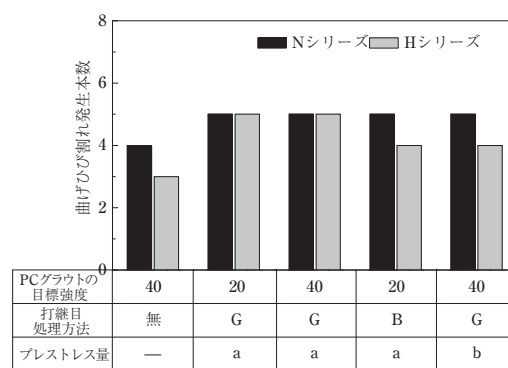


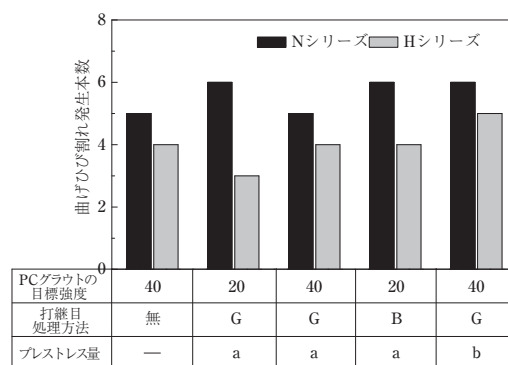
図-3 曲げひび割れ発生モーメント (シリーズB)

#### 4. 曲げひび割れの本数と間隔

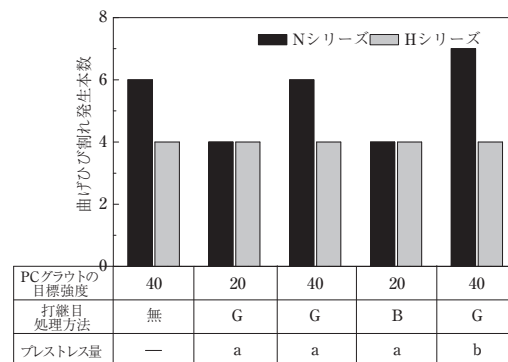
図-4に、シリーズAの曲げひび割れ本数を示す。ここでは、打継目無しの梁供試体と打継目がせん断スパンの中央のII断面に設けた梁供試体である。シリーズAの普通強度のコンクリートを用いた梁では、図-4(a)に示すように、60 cmの曲げモーメント一定区間に生じたひび割れの本数の平均は5.0本であるのに対し、高強度コンクリートを用いたHシリーズでは4.4本であった。コンクリー



(a) 曲げモーメント一定区間



(b) II断面のせん断スパン



(c) 打継目無しのせん断スパン

図-4 曲げひび割れ本数 (シリーズA)

ト強度を35 N/mm<sup>2</sup>から70 N/mm<sup>2</sup>に増加させると、曲げモーメント一定区間のひび割れの本数は約10%減少した。これは、土木学会コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>に規定されている曲げひび割れ幅の算定式のように、コンクリートの強度が大きくなるほど、ひび割れ分散性が良くなるという傾向と異なる。

せん断スパンに発生するひび割れの数は、図-4(b)、(c)に示すように、せん断スパン中央に鉛直打継目が配置されると、(b)の打継目を設けた場合には普通コンクリートを用いた梁では少し多く、高強度コンクリートを用いた梁ではほぼ等しくなっている。また図-4(c)の打継目を設けていない場合には、普通コンクリートを用いた梁ではひび割れの本数がばらつき、ほぼ等しいか少し少なく、高強度コンクリートを用いた梁では等しくなっている。そして、

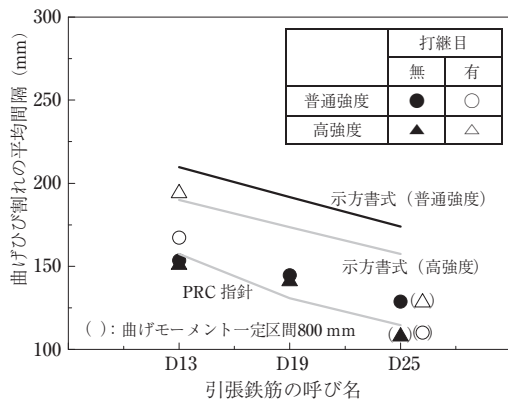


図 - 5 曲げひび割れの平均間隔

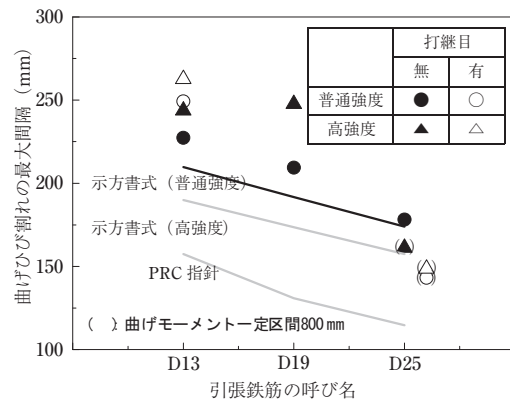


図 - 6 曲げひび割れの最大間隔

両せん断スパンの長さは曲げモーメント一定区間の 60 cm の 2 倍であったため、高強度コンクリートを用いた PPC 梁では、ひび割れ本数が普通強度コンクリートを用いた N シリーズに比べて約 20% 減少している。したがって、梁全体のひび割れ本数は、N シリーズでは 15.2 本であるのに対し、H シリーズでは 12.8 本と約 15% 減少している。

シリーズ B の各梁供試体に発生するひび割れは、曲げひび割れが卓越した。図 - 5 および図 - 6 はそれぞれ、曲げひび割れの平均間隔および最大間隔の測定値を、計算値と比較して示す。ここで述べる曲げひび割れの平均間隔の測定値は、引張鉄筋ひずみが 1500  $\mu$  前後のひび割れがほぼ定常状態となった時における曲げモーメント一定区間に発生したひび割れ間隔の平均値である。なお、計算式の示方書式は、土木学会コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>に規定されている式、PRC 指針は、日本建築学会プレレスト鉄筋コンクリート構造設計・施工指針<sup>9)</sup>に規定されている式より算定した値を示す。

ひび割れ幅は、ひび割れ間の鉄筋の伸びとコンクリートの伸びの差により生じるものであり、一般にはひび割れ間隔に関する項とひずみに関する項との積として与えられる。ゆえに、同一荷重作用時のひび割れ幅は、ひび割れ間隔に大きな影響を受ける。今回の実験要因のなかで、示方書式には引張鉄筋径、コンクリート強度、かぶりなどの影響が考慮されている。しかしながら PRC 指針式には、引張鉄筋径とかぶり厚さなどの影響が考慮されているが、コンクリート強度は考慮されていない。

図 - 5 に示すように、引張鉄筋径が太いほどひび割れの分散性が良いという傾向は、両計算式にも考慮されている。本供試体の測定値においても、引張鉄筋径を大きくすることで、ひび割れの分散効果が明確に認められる。

土木学会の示方書式は、強度が大きいかほどひび割れの分散性がよいことを示しているが、打継目を有する梁では、高強度コンクリートを用いるとひび割れ間隔は逆に大きくなっている。とくに、A シリーズと同じく、D13 の引張鉄筋を配置した梁で著しい。また、平均間隔よりは最大間隔で著しく、打継目の無い梁でも高強度コンクリートを用いるとひび割れ間隔は大きくなっている。そして、D25 の引張鉄筋を配置した梁では、コンクリートの強度が

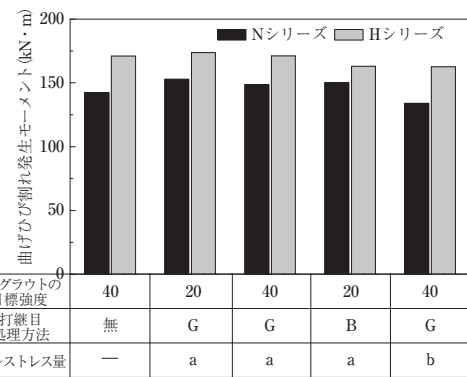


図 - 7 最大ひび割れ幅が 0.2 mm の時の曲げモーメント

曲げひび割れ間隔に及ぼす影響は明瞭に認められなくなっている。

図 - 5 に示すように、土木学会示方書式を用いると、曲げひび割れの平均間隔は、コンクリートの強度にかかわらず、測定値よりも大きく算定される。しかしながら図 - 6 に示すように、曲げひび割れの最大間隔は、土木学会の示方書式では測定値より小さく算定されることが明らかになった。

また打継目を有する梁においては、曲げひび割れの間隔が大きくなる傾向が、呼び名 D13 を配置した梁ではいずれのコンクリート強度でも明瞭である。しかしながら、呼び名 D25 を配置した梁では打継目の影響はほとんど認められない。引張鉄筋の径が大きくなると、これが分担する引張力の割合がコンクリートが分担していた引張力に対して大きくなるため、打継目における急激な引張鉄筋の分担力の増加が緩和されることによると考えられる。

### 5. 曲げひび割れ幅

図 - 7 に、最大ひび割れ幅が 0.2 mm に達する曲げモーメントを示す。ここでは、打継目無しの梁供試体と打継目をせん断スパンの中央の II 断面に設けた梁供試体である。図 - 7 に示すように、シリーズ A の高強度コンクリートを用いた H シリーズでは、普通強度コンクリートを用いた N シリーズと比較すると、最大ひび割れ幅が 0.2 mm に達する曲げモーメントが大きくなる傾向がいずれのケース

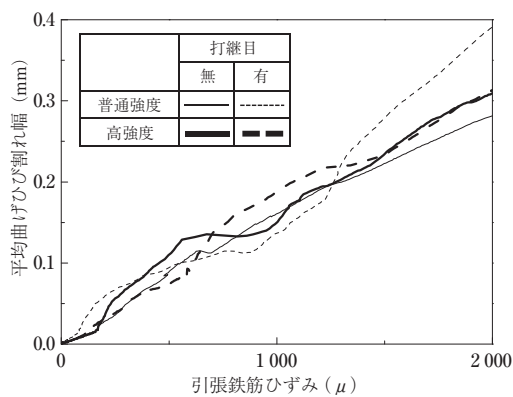


図 - 8 平均曲げひび割れ幅と引張鉄筋ひずみの関係 (D13)

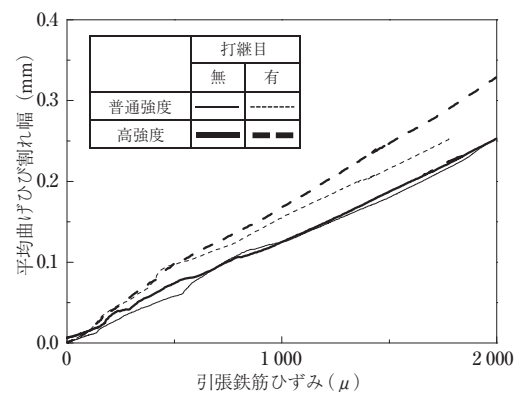


図 - 9 平均曲げひび割れ幅と引張鉄筋ひずみの関係 (D25)

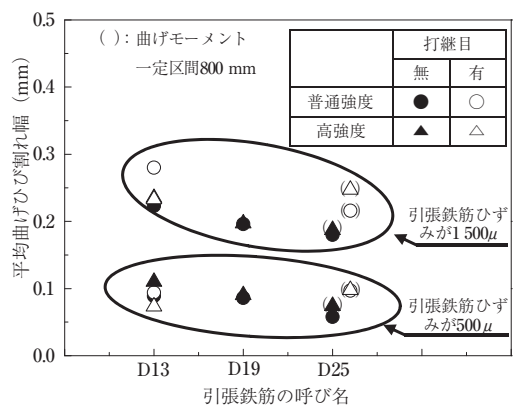


図 - 10 平均曲げひび割れ幅

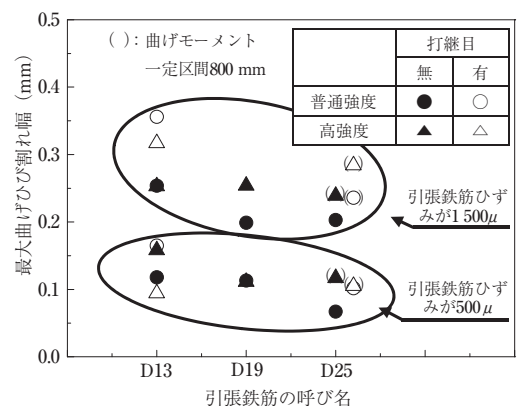


図 - 11 最大曲げひび割れ幅

においても認められる。すなわち、同じ曲げモーメントにおいては、高強度コンクリートを用いた PPC 梁の曲げひび割れ幅が小さくなっている。なお、曲げひび割れ幅に及ぼす PC グラウトの強度の影響は、ほとんど認められなかった。また、プレストレスの導入量が大きい梁が、曲げひび割れ幅は小さくなっている。

シリーズ B の平均曲げひび割れ幅と引張鉄筋のひずみの関係を、D13 の場合は図 - 8 に、D25 の場合は図 - 9 にそれぞれ示す。ここでの平均曲げひび割れ幅とは、曲げモーメント一定区間に発生したひび割れのなかでもっとも大きいもの 3 本の平均値である。引張鉄筋径が細い D13 を配置した梁では、コンクリート強度および打継目の有無の影響がほとんど認められない、しかしながら、引張鉄筋径が太い D25 を配置した梁では、打継目があるほうが、同一の引張鉄筋のひずみに対応する平均曲げひび割れ幅が大きいことが認められる。そして、打継目の有る梁では、コンクリート強度が大きいほうが、大きなひび割れ幅となることも認められる。

図 - 10 および図 - 11 は、シリーズ B の平均曲げひび割れ幅および最大曲げひび割れ幅に及ぼす引張鉄筋径の影響を、コンクリート強度および打継目の有無の影響も考慮して総合的に示している。平均曲げひび割れ幅および最大曲げひび割れ幅は、引張鉄筋のひずみが 500  $\mu$  および 1500  $\mu$  に達した時の測定値である。これらのひずみは、

従来の許容応力度設計法における引張鉄筋の許容応力度にほぼ対応する 1000  $\mu$  のひずみに対して、その前後の曲げひび割れ幅の発達がまだ十分でない値および十分にひび割れの発達が定常状態になったと考えられる値とした。

平均曲げひび割れ幅および最大ひび割れ幅のいずれにおいても、引張鉄筋径が大きくなることによって、曲げひび割れ幅が小さくなることが認められる。しかしながら、実験の計画において想定したとおり高強度コンクリートを用いると平均曲げひび割れ幅と最大曲げひび割れ幅はともに小さくなっていることが、D13 の引張鉄筋を配置した梁で高い荷重レベルにおいて認められるものの、D25 の引張鉄筋を配置した梁では逆の現象も現れている。このように、コンクリート強度の及ぼす影響は明確ではない。また、打継目を有すると、最大曲げひび割れ幅だけではなく、平均曲げひび割れ幅も大きくなることは、引張鉄筋の呼び名が D25 を用いた場合で高い荷重レベルにおいて明瞭である。

## 6. 斜めひび割れ性状と破壊形式

梁供試体の破壊時におけるシリーズ A のひび割れ図を写真 - 3 に示す。せん断スパンには、曲げひび割れが発達して、斜めひび割れが発生し、その進展が荷重点に向っていることが確認された。しかしながら、斜めひび割れが発達して、せん断圧縮破壊を生じる前に、曲げひび割れの進展が早く、引張鉄筋が降伏した後にコンクリートが圧

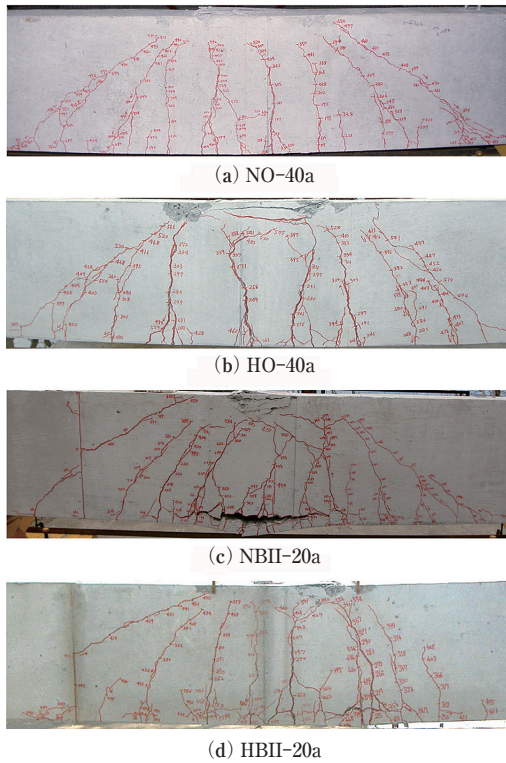


写真 - 3 破壊時のひび割れ性状

壊する曲げ引張破壊を生じた。表 - 6 に示すように、打継目の無い梁だけでなく、せん断スパン中央に鉛直打継目を設けて打継目処理が良好な梁についても、曲げ引張破壊を生じた。

一方、打継目をⅡ断面に設けて打継目の処理をワイヤブラシで行った梁は、高強度と普通強度のコンクリートを用いたいずれの梁も、せん断圧縮破壊となった。すなわち、まず鉛直打継目に沿って鉛直ひび割れが発達したため、斜めひび割れが不連続に発生した。そして、鉛直打継目に沿ったひび割れ幅が拡大しながら斜めひび割れが卓越して、最終的にせん断圧縮破壊に至った。このことから、高強度コンクリートを用いた PPC 梁においても、打継目をせん断スパンの中央付近に設け、その処理をワイヤブラシのみで行うなどの不良の状態であると、せん断圧縮破壊へと曲げ引張破壊から脆い破壊形式に移行する傾向があると考えられる。

シリーズ B においては、曲げモーメント一定区間に配置した打継目の有無とコンクリート強度に関わらず、引張鉄筋の呼び名が D13、D19 の試験体の場合は曲げ引張破壊、呼び名が D25 の試験体の場合は図 - 9 に示したように、引張鉄筋は降伏したあと、あるいは降伏に達する直前まで引張力を分担したものの最終的にはせん断圧縮破壊であった。導入されたプレストレス力はすべての梁で同じであったため、このように呼び名 D25 を配置した PPC 梁において最終的にはせん断圧縮破壊に至ったことは、せん断圧縮破壊におけるプレストレスの分担に対して、引張鉄筋の分担の割合が少し小さいことが示唆される。

表 - 6 最大曲げモーメントと破壊形式

シリーズ	供試体名	最大曲げモーメント (kN・m)		破壊形式*
		計算値	実験値	
A	HO-40a	370	373	FT
	HGI-40b	347	395	FT
	HGI-40a	370	391	FT
	HGII-20a	370	383	FT
	HGII-40a	370	382	FT
	HGII-60a	370	374	FT
	HBII-20a	370	379	SC
	HGII-40b	347	374	FT
	HBII-60b	347	370	SC
	HBII-40a	370	380	SC
	NO-40a	360	331	FT
	NGI-20a	360	344	FT
	NBI-20a	360	337	FT
	NGII-20a	360	347	FT
	NGII-40a	360	343	FT
	NGII-60a	360	354	FT
B	NBII-20a	302	363	SC
	NGII-40b	337	352	FT
	NGII-60b	337	353	FT
	HO-D13	365	354	FT
	HO-D19	541	559	FT
	HO-D25	432	561	SC
	HGI-D13	365	356	FT
	HGI-D25	432	661	SC
	NO-D13	358	338	FT
	NO-D19	528	508	FT
NO-D25	358	666	SC	
NGI-D13	358	347	FT	
NGI-D25	358	541	SC	

\* FT : 曲げ引張破壊, SC : せん断圧縮破壊

## 7. 最大曲げモーメント

表 - 6 にはまた、最大曲げモーメントも示す。シリーズ A の曲げ引張破壊を生じた普通強度コンクリートを用いた N シリーズの梁の最大曲げモーメントは 331 ~ 354 kN・m であったのに対して、高強度コンクリートを用いた H シリーズの梁の最大曲げモーメントは 373 ~ 395 kN・m であり、N シリーズと比較して 10 % 程度大きな値を示した。一体型供試体と比較すると、ほとんどの鉛直打継目を有する供試体では最大曲げモーメントは少し大きくなったがその差は大きくないため、鉛直打継目の影響は小さいと考えられる。

なお、打継目が梁の耐荷挙動に及ぼす影響を考えたとき、もっとも大きなウエイトを占めるのが打継目付近における軸方向引張力の分担である。打継目が無い一体型に比べて打継目付近で生じる引張応力度は複雑で曲げひび割れが早期に発生しやすく、また発生したひび割れの進展も速くなる。そのため、打継目の引張鉄筋の分担割合が増増することになる。しかし、荷重が増加し、打継目以外での曲げひび割れの発生と進展に伴い、中立軸より下の断面ではコンクリートの引張負担力が急激に低下する。つまり、引張力の分担は鋼材にスムーズに移行していく。

このように、コンクリートの引張分担力と鋼材の引張力の合力で、外力の引張力に抵抗する初期段階において、コンクリートの分担力が急激に減少する現象が生じていると、打継目の影響が大きくなると考えられる。しかしながら、鋼材が分担する引張力が支配的になる終局付近におい



ては、打継目の影響が小さくなるを考える。

打継目の処理が不十分で、せん断力により打継目でずれが生じる場合には、曲げ引張破壊がじん性の小さいせん断圧縮破壊へと破壊形式が変化することが生じる。このような破壊を生じさせない打継目の処理は不可欠である。

## 8. ま と め

鉛直打継目を有する高強度コンクリートを用いた PPC 梁の曲げ性状とせん断性状について、普通強度コンクリートを用いた PPC 梁と比較した実験的な検討結果を報告し、以下の結果が得られた。

- (1) PPC 梁のひび割れ本数および間隔において、高強度コンクリートを用いても、引張鉄筋比の大きい梁では必ずしも曲げひび割れの分散効果は得られなかった。
- (2) 最大ひび割れ幅が 0.2 mm に達するときの曲げモーメントは、引張鉄筋比の小さい梁ではコンクリート強度を大きくすること、プレストレス導入量を大きくすることにより、それぞれ大きくなる。なお、この曲げモーメントに及ぼす PC グラウト強度の影響は小さい。
- (3) 曲げひび割れ幅は、高強度コンクリートを用いると引張鉄筋比の小さい PPC 梁では減少できる結果を得たものの、引張鉄筋比を要因に採った PPC 梁では高強度コンクリートを用いても、引張鉄筋比の大きい梁では曲げひび割れ幅はほとんど減少できなかった。
- (4) 破壊時の最大曲げモーメントは、高強度コンクリートを使用することにより大きくなる。破壊形式は、鉛直打継目の位置と処理方法の影響を受けるが、打継目の位置に関わらず、遅延剤を用いて打継目に粗骨材が現れる程度の凹凸を生じさせる処理をした場合には曲げ引張破壊

となった。しかしながら、せん断スパン中央に打継目を設けてワイヤーブラシで処理した、打継目の接着強度が不十分である場合には、高強度コンクリートを用いてもせん断圧縮破壊となった。

## 参考文献

- 1) 森脇貴志, 中島貴弘, 辻幸和, 池田修: ポリマーセメントモルタルを用いた打継目の曲げ性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.1257-1262, 1994.7
- 2) 森脇貴志, 辻幸和, 橋本親典, 木暮健: 鉄筋コンクリートはりによるポリマーセメントモルタルを打継ぎ材に用いた打継目の性能評価, 土木学会論文集, No.538/V-31, pp.1-14, 1996.5
- 3) 池田正志, 辻幸和, 李春鶴, 杉山隆文: 鉛直打継目を有するコンクリート強度が異なる PPC はりの曲げおよびせん断性状, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.15, pp.297-302, 2006
- 4) 李春鶴, 辻幸和, 半井健一郎, 有賀大峰: 異なる呼び名の引張鉄筋を用いた PPC はりの曲げ性状, 第 16 回プレレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.16, pp.141-146, 2007
- 5) 李春鶴, 辻幸和, 池田正志: 鉛直打継目を有する高強度コンクリート PPC はりの曲げひび割れ性状, 第 19 回プレレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2010 (投稿中)
- 6) 山口光俊, 李春鶴, 辻幸和, 池田正志: 高炉スラグ微粉末の併用により塩化物イオン量を低減した PC グラウトの製造, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.769-774, 2009
- 7) (社)プレレストレスト・コンクリート建設業協会: PC グラウト & プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル (改訂版), 1999
- 8) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書「設計編」, pp.102-105, 2008
- 9) 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, 2003

【2010 年 6 月 16 日受付】



図書案内

PC 技術規準シリーズ

# PC 斜張橋・エクストラローズド橋設計施工規準

定 価 4,725 円/送料 500 円

会員特価 4,000 円/送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編

技報堂出版