

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

群馬大学 工学部 正会員 ○池田 正志
 群馬大学 工学部 正会員 工博 辻 幸和
 群馬大学 工学部 正会員 博士(工学) 李 春鶴
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 PhD 杉山 隆文

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造の弱点である載荷によるひび割れを制御すること、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、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おり、近年ではPPC構造物が大規模化また長大化されてきている。そのため、一度にコンクリートを打ち込むことは困難であり、鉛直打継目が避けられなくなっている。鉛直打継目がコンクリート部材¹⁾、鉄筋コンクリート(RC)はり²⁾、PPCはり³⁾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。

本研究では、コンクリート強度が異なる鉛直打継目を有するPPCはりの曲げ性状とせん断性状を報告する。作製した供試体は、鉛直打継目の位置とその処理方法、プレストレス導入量、PCグラウトの品質、引張鉄筋の一部切断の条件を組み合わせたものである。

2. 実験概要

2.1 供試体

図-1には、はり供試体の形状・寸法を示す。幅が300mm、高さが600mm、全長が3600mm、スパン長が3000mmの対称2点集中荷重を受ける単純ばりである。曲げモーメント一定区間は600mmとした。下面から50mmの位置に引張鉄筋D13を5本、上面から50mmの位置に圧縮鉄筋D13を2本、下面から150mmの位置にPC鋼棒φ13を2本それぞれ配置した。1200mmのせん断スパンにはスターラップD6を100mmと200mm間隔で配置した。

表-1に使用した鉄筋およびPC鋼棒の力学的特性を示す。作製した供試体の種類を表-2に示す。コンクリートは、目標強度を35N/mm²(以下、Nシリーズと称する。)、70N/mm²(以下、Hシリーズと称する。)の2種類とした。それらの配合と載荷時における圧縮強度を表-3に示す。

表-1 鉄筋およびPC鋼棒の力学的特性

	降伏点 f_y (N/mm ²)	引張強さ f_u (N/mm ²)	弾性係数 E_s (kN/mm ²)
鉄筋D13	384	588	191
スターラップD6	369	562	178
PC鋼棒φ13	930	1080	200

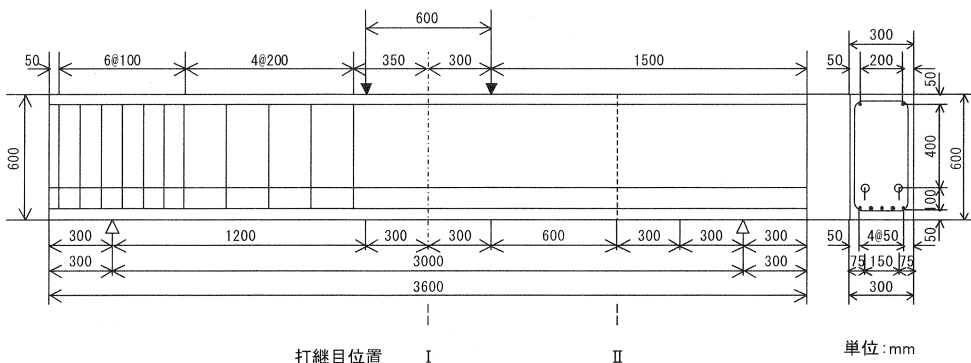


図-1 PPCはり供試体の形状・寸法

表-2 供試体の種類

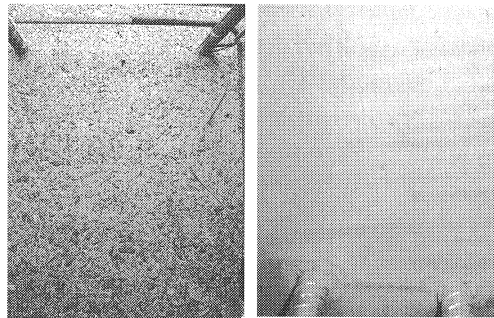
供試体名	コンクリート強度(kN/mm ²)	打継目位置	打継目処理方法	PCグラウト強度(N/mm ²)	プレストレス導入量(%)	備考	
N -40a	35	無	-	40	80		
NG I -20a		I	良	20			
NB I -20a			悪				
NG II -20a		II	良	40			
NG II -40a				60			
NG II -60a				20			
NB II -20a				40			
NG II -40b			良	60			
NG II -60b			悪	20			
NB II -20ac			悪	20			80
H -40a	無		-	40	80		
HG I -40a	I	良					
HG I -40b							
HG II -20a	II	良	20				60
HG II -40a			40				80
HG II -60a			60				
HB II -20a			悪				20
HG II -40b		良	40				60
HB II -60b		悪	60				80
HB II -40a		悪	40				

表-3 コンクリートの配合と圧縮強度

目標強度(N/mm ²)	粗骨材の最大寸法(mm)	スランブ(cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単用量(kg/m ³)						圧縮強度(N/mm ²)
						水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	減水剤	AE剤	
35	25	8±2.5	4.5±1.5	50.5	44.8	156	309	820	1014	3.71		35.5
70	20	12±2.5		33.0	42.0	159	482	730	1040	4.82	1.93	77.7

鉛直打継目を曲げモーメント一定区間中央のI断面に設けた供試体(以下、Iシリーズと称する。)とせん断スパン中央のII断面に設けた供試体(以下、IIシリーズと称する。),打継目を設けなかった一体型の供試体を作製した。鉛直打継目の処理方法には、遅延剤を用いて処理し付着が十分なもの(以下、Gシリーズと称する。),ワイヤーブラシを用いて処理し付着が足りないもの(以下、Bシリーズと称する。)の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。

PCグラウトの品質は、目標強度を20N/mm²,40N/mm²,60N/mm²の3種類とした。PCグラウトの配合と圧縮強度を表-4に示す。高炉スラグ微粉末を2種類,PCグラウト用混和剤を2種類使用し,それらを組み合わせる5種類のPCグラウトを作製した。表-4中のN,Sは高炉スラグ微粉末の種類を,C,GはPCグラウト



(a) 遅延剤の塗布 (Gシリーズ) (b) ワイヤーブラシ (Bシリーズ)

写真-1 打継目の施工方法

表-4 PCグラウトの配合と圧縮強度

目標強度(N/mm ²)	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バッチあたりの質量(g)							圧縮強度(N/mm ²)
				水	結合材B		PCグラウト用の混和剤		高性能AE減水剤		
					セメント	高炉スラグ微粉末	量	種類		量	
20	65	2.0	0.0	16250	12500	12500	N	500	C	0	19.6
							S				19.4
40	45	1.0	0.0	11250	12500	12500	N	250	G	0	38.4
							S				39.5
60	35	0.5	1.0	8750	12500	12500	N	125	G	250	50.5

ト用混和剤の種類をそれぞれ示す。

プレストレス導入量には、P C鋼棒の耐力の80% (以下、aシリーズと称する。)、60% (以下、bシリーズと称する。) の2種類とした。なお、コンクリート下縁に導入したプレストレス量は、それぞれ 2.74N/mm²、2.06N/mm²であった。引張鉄筋の切断については、引張鉄筋を支点からせん断スパンの1/4の位置で2本切断した (以下、供試体名の末尾にcを追記する。) ものを作製した。

2.2 荷重試験

荷重方法は、支点間距離を3000mm、荷重点距離を600mmの2点集中荷重とした。また、荷重は静的漸増荷重とした。

測定項目はひび割れ幅、鉄筋とP C鋼棒のひずみ、コンクリートの圧縮縁と引張縁のひずみとした。荷重状況を写真-2に示す。ひび割れ幅の測定は、測長が100mmのπ型変位計を用い、供試体側面の引張鉄筋位置において行った。また鉄筋とP C鋼棒のひずみはゲージ長が6mmの、コンクリートの圧縮縁ひずみと引張縁ひずみはゲージ長が60mmのワイヤーストレインゲージをそれぞれ用いて計測した。

3. 曲げひび割れ発生モーメント

表-5には、曲げひび割れ発生モーメントおよびその発生位置を示す。曲げひび割れの発生は、コンクリート引張縁ひずみ、引張鉄筋ひずみ、はり側面の引張鉄筋位置のπ型変位計のいずれかの値が急変する点と判定し、その時の荷重から曲げひび割れが発生した位置での曲げモーメントを、曲げひび割れ発生モーメントとした。

また、一体型供試体に対する各供試体の曲げひび割れ発生モーメントの割合を、図-2に示す。打継目をI断面に設けたよりは、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。曲

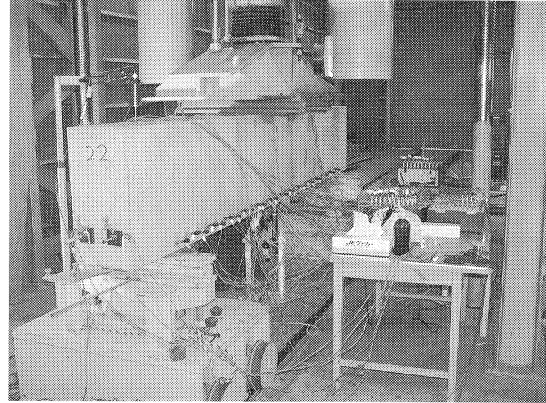


写真-2 荷重状況

表-5 曲げひび割れ発生モーメントおよびその発生位置

供試体 No.	供試体名	発生位置	曲げひび割れ発生モーメント (kN・m)
1	N -40a	BMC	48.6
2	NG I -20a	BMC(J)	36.6
3	NB I -20a	BMC(J)	27.6
4	NG II -20a	BMC	36.6
5	NG II -40a	BMC	46.2
6	NG II -60a	BMC	54.0
7	NB II -20a	J(II)	20.7
8	NG II -40b	BMC	53.4
9	NG II -60b	BMC	54.0
10	NB II -20ac	J(II)	24.3
11	H -40a	BMC	99.6
12	HG I -40a	BMC(J)	53.4
13	HG I -40b	BMC(J)	44.4
14	HG II -20a	BMC	82.2
15	HG II -40a	BMC	73.8
16	HG II -60a	BMC	86.4
17	HB II -20a	J(II)	34.5
18	HG II -40b	BMC	70.8
19	HB II -60b	J(II)	35.1
20	HB II -40a	J(II)	39.6

BMC: 曲げモーメント一定区間
 BMC(J): 曲げモーメント一定区間の打継目
 J(II): せん断スパン中央の打継目(II断面)

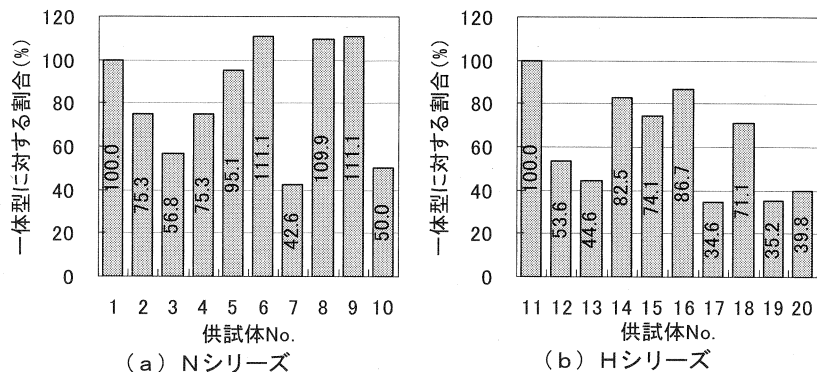


図-2 一体型供試体に対する各供試体の曲げひび割れ発生モーメントの割合

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はりでは、打継目の処理が悪い B シリーズにおいてのみ、打継目に最初に曲げひび割れが発生した。打継目部分でのコンクリートの付着強度が小さいためである。そして、打継目の処理に遅延剤を用いること、プレストレス導入量を大きくすることにより、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。

N シリーズと比較すると、高強度コンクリートを用いた H シリーズが曲げひび割れ発生モーメントは大きくなることも確かめられた。

4. ひび割れ性状

土木学会コンクリート標準示方書に規定されている許容ひび割れ幅を、式(1)に示す。本研究の断面形状寸法と鉄筋の配置方法では、許容ひび割れ幅は約 0.22mm となる。このことから、最大ひび割れ幅が 0.2mm のときを基準とし、今後の検討を行った。

$$W_a = 0.005c \quad \dots \text{式(1)}$$

W_a: 許容ひび割れ幅 (mm)

c: かぶり (mm)

4.1 ひび割れ発生状況

表-6には、各供試体のひび割れの本数を示す。N シリーズでは、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、H シリーズでは 4.4 本であった。コンクリート強度を 35N/mm² から 70N/mm² 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% 減少している。なお、打継目の無い供試体と比較して、曲げモーメント一定区間のⅠ断面に打継目を設けた供試体は、その一定区間においてひび割れ本数が増加する傾向が見られた。打継目に曲げひび割れが最初に生じたためである。

せん断スパンに発生するひび割れの数は、せん断スパン中央に鉛直打継目が配置されてもほぼ等しいことが、いずれの強度についても認められる。そして、せん断スパンが曲げモーメント一定区間の 2 倍あったため、高強度のコンクリートを用いた P P C はりでは、ひび割れ本数が N シリーズに比べて約 20% 減少している。したがって、はり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。

プレストレスの導入量を大きくすることにより、Ⅱ断面に打継目を有するはりでは、せん断スパンのひび割れ本数が N シリーズでは打継目無しの区間でも減少し、その結果全体のひび割れ本数が減少する傾向が見られた。しかしコンクリート強度の高い H シリーズでは、必ずしもこのような傾向は認められなかった。

また P C グラウト強度が増加すると、Ⅱ断面に打継目を有するせん断スパンにおける N シリーズのひび割れ本数は減少する傾向が見られた。P C 鋼棒との付着が良くなり、打継目のひび割れの抑制

表-6 ひび割れの本数

供試体名	せん断スパン (Ⅱ断面)	せん断スパン (打継目無し)	せん断スパン (全体)	曲げモーメント 一定区間	全体
N -40a	5	6	11	4	15
NGⅠ -20a	5	6	11	5	16
NBⅠ -20a	5	6	11	5	16
NGⅡ -20a	6	4	10	5	15
NGⅡ -40a	5	6	11	5	16
NGⅡ -60a	3	4	7	5	12
NBⅡ -20a	6	4	10	5	15
NGⅡ -40b	6	7	13	5	18
NGⅡ -60b	4	6	10	6	16
NBⅡ -20ac	4	4	8	5	13
平均	4.9	5.3	10.2	5.0	15.2
H -40a	4	4	8	3	11
HGⅠ -40a	4	5	9	5	14
HGⅠ -40b	4	4	8	5	13
HGⅡ -20a	3	4	7	5	12
HGⅡ -40a	4	4	8	5	13
HGⅡ -60a	4	6	10	4	14
HBⅡ -20a	4	4	8	4	12
HGⅡ -40b	5	4	9	4	13
HBⅡ -60b	4	4	8	3	11
HBⅡ -40a	4	5	9	6	15
平均	4	4.4	8.4	4.4	12.8

効果が大きくなったためであると思われる。しかしHシリーズでは、このような傾向は認められなかった。

以上より、ひび割れの本数は、普通コンクリートを用いたPPCはりに比べて、高強度コンクリートを用いると減少するとともに、普通コンクリートを用いたPPCはりでは認められたプレストレス導入量やPCグラウト強度がひび割れ発生状況に及ぼす影響は、高強度コンクリートを用いたPPCはりではほとんど認められなくなる。

4.2 最大ひび割れ幅

図-3に、コンクリート強度と最大ひび割れ幅が0.2mm 時における曲げモーメントの関係を示す。打継目の無い一体型、打継目があるPCグラウトの強度、打継目処理方法、プレストレスの導入量がそれぞれ同じで、コンクリート強度 (N, Hシリーズ) のみが異なる6組のはりについて示している。

最大ひび割れ幅は曲げモーメント一定区間に生じており、それをπ型変位計により求めた。

Nシリーズと比較すると、Hシリーズでは最大ひび割れ幅が0.2mm 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においても認められる。コンクリートの強度が大きいことにより、同一の曲げモーメントでは最大ひび割れ幅が小さくなり、その結果同じひび割れ幅に達する曲げモーメントが大きくなるためである。

5. 最大曲げモーメントおよび破壊形式

表-7には、各供試体の最大曲げモーメントおよび破壊形式を示す。Nシリーズにおける各供試体の最大曲げモーメントは331~363kN・mであった。Hシリーズでの各供試体の最大曲げモーメントは370~395kN・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、ほとんどの供試体で最大

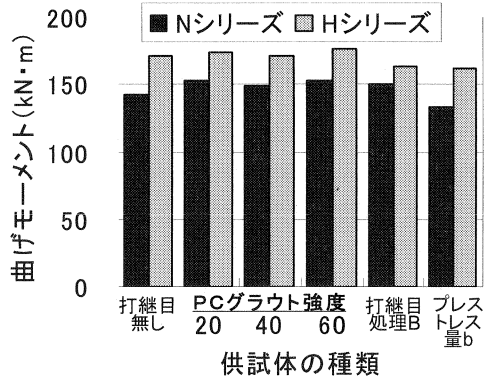
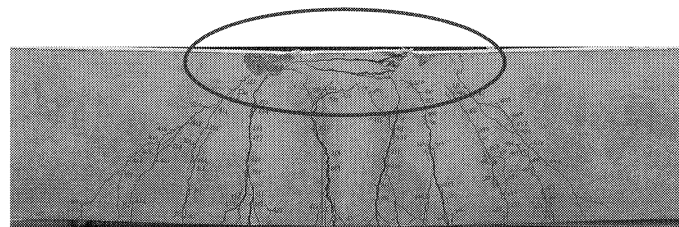


図-3 コンクリート強度による最大ひび割れ幅が0.2mm 時の曲げモーメント

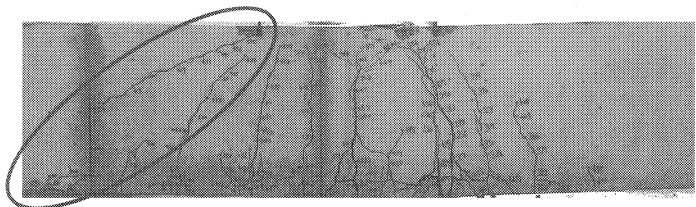
表-7 最大曲げモーメントおよび破壊形式

供試体名	最大曲げモーメント (kN・m)	破壊形式	供試体名	最大曲げモーメント (kN・m)	破壊形式
N -40a	331	BF	H -40a	373	BF
NG I -20a	344	BF	HG I -40a	395	BF
NB I -20a	337	BF	HG I -40b	391	BF
NG II -20a	347	BF	HG II -20a	383	BF
NG II -40a	343	BF	HG II -40a	382	BF
NG II -60a	354	BF	HG II -60a	374	BF
NB II -20a	363	SCF	HB II -20a	379	SCF
NG II -40b	352	BF	HG II -40b	374	BF
NG II -60b	353	BF	HB II -60b	370	SCF
NB II -20ac	356	SCF	HB II -40a	380	SCF

BF : 曲げ破壊, SCF : せん断圧縮破壊



(a) 曲げ破壊 (H-40a)



(b) せん断圧縮破壊 (HB II-20a)

写真-3 破壊状況の一例

曲げモーメントは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。

供試体の破壊状況の一例を写真-3に示す。破壊形式はほとんどの供試体で曲げ破壊となったが、打継目をⅡ断面に設けて打継目の処理をワイヤーブラシで行ったはりのみが、高強度コンクリートをを用いた場合も含めせん断圧縮破壊となった。鉛直打継目に沿って斜めひび割れが不連続に発生し、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、打継目をせん断スパンの中央付近に設け、その処理をワイヤーブラシのみで行うなどの不良の状態であると、最大荷重にはほとんど変化はないが、せん断圧縮破壊へと脆い破壊形式に移行する傾向があると考えられる。このせん断圧縮破壊を生じたはりを、表-7にSCFの記号で示している。

鉛直打継目から支点方向へせん断スパンの1/4の長さ延ばして5本の引張鉄筋のうち2本を切断したNBⅡ-20acはりも、せん断圧縮破壊を生じたが、切断しないはりと同等の最大荷重を示した。このような切断方法により、引張鉄筋を切断して定着できると考えられる。

6. まとめ

鉛直打継目を有するコンクリートの強度が 35N/mm^2 と 70N/mm^2 のパーシャルプレストレストコンクリート(PPC)はりの曲げおよびせん断性状を実験的に検討した結果、本研究の範囲内で次の知見を得た。

- (1) 打継目の位置が曲げモーメント一定区間のⅠ断面の場合には、初期曲げひび割れが打継目部分に発生し、その曲げひび割れ発生モーメントは小さくなる。せん断スパン中央部のⅡ断面に打継目を有し、打継目の処理がワイヤーブラシで洗った程度の場合には、その部分に初期ひび割れが発生し、曲げひび割れ発生モーメントが小さくなる。その場合に、打継目に遅延剤を用いて処理すること、プレストレス導入量を大きくすることにより、曲げひび割れ発生モーメントを大きくすることができる。
- (2) 最大ひび割れ幅が 0.2mm に達するときの曲げモーメントは、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) 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、打継目の位置にかかわらず遅延剤を用いて処理した場合には曲げ圧縮破壊となった。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するといった打継目の付着強度が不十分である場合には、せん断圧縮破壊となった。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(B)(2)課題番号15360229、代表者:辻幸和 群馬大学教授)および極東鋼弦コンクリート振興(株)との共同研究を受けて実施したものである。本研究の実施には、当時当研究室の院生と学部学生であった藤本謙太郎氏(現、㈱ピーエス三菱)、佐藤明氏(現、旭化成ライフライン(株))、石黒健一氏(現、㈱富士ピー・エス)に多大なご援助を頂いた。そして、供試体の作製と載荷実験には、ドービー建設工業(株)関東工場に多大なご支援とご援助を頂いた。付記して、厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 森脇貴志ほか: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.
- 2) 森脇貴志ほか: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.
- 3) 藤本謙太郎ほか:高炉スラグ微粉末を併用したPCグラウトのフレッシュおよび強度性状、コンクリート工学年次論文集、Vol.26, No.1, pp.129-134, 2004.6