

鉛直打継目を有する PPC 梁のせん断性状に関する基礎的研究

山口 光俊*1・辻 幸和*2

In the PPC beam that has a vertical construction joint, the influence of the axial force was experimentally examined from the viewpoint of the diagonal cracking properties, the shear capacity, and the strain of shear reinforcement. The small PPC beam (shear span to depth ratio : $a/d = 1.76 \sim 2.35$, reinforcement ratio : $p_w = 2.25 \sim 3.37\%$) and the large PPC beam ($a/d = 3.80$, $p_w = 1.71\%$) were supplied in the experiment. In addition, small PPC beams were compared by taking following parameters ; a state of vertical construction joint, a amount of introduced prestress. In large PPC beams, the diameter of the shear reinforcement was made two levels.

As a result, the diagonal cracking properties and the strain of shear reinforcement have been improved corresponding to the amount of introduced prestress in the PPC beam where the surface condition of the vertical construction joint was in goodness. However, when the state of the vertical construction joint was defective, it was confirmed to become the factor of the decrease in the load where a diagonal crack occurred and the decrease in the shear capacity, and to influence the shear behavior harmfully.

Key words : PPC beam, vertical construction joint, diagonal crack, strain of shear reinforcement

1. はじめに

鉛直方向の打継目（以下、打継目と称す）を設けた RC 梁は、打継目位置に曲げひび割れが発生し、さらに打継目の処理が不十分であると、打継目において斜めひび割れが不連続に発生して、新旧コンクリートが高さ方向にずれを生じることを報告した¹⁾。また、打継目がせん断スパン内に存在することで、斜めひび割れ発生後においてスターラップのひずみが局所的に増加し、せん断性状が低下することも報告した^{1, 2)}。

PC 構造は、これまで打継目断面に圧縮応力のみが作用するようにフルプレストレスの状態設計しているため、ひび割れ発生後におけるせん断性状に対して配慮はほとんどなされていない。しかし、使用限界状態においてひび割れの発生を許容する PPC 構造では、RC 構造で確認されたせん断性状の低下が懸念される。そのせん断性状の低下を、小型の PPC 梁について、先に報告した³⁾。

本文では、その報告も含め、打継目を有する PPC 梁のせん断性状を確認することを主目的として、せん断スパン比の異なる小型および大型の RC 梁にプレストレスを導入した PPC 梁を作製し、プレストレスによる軸力が打継目を有する PPC 梁に及ぼす影響を斜めひび割れ性状、せん断耐力およびスターラップのひずみ性状の観点から実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体の形状寸法および荷重試験方法

供試体の形状寸法および配筋方法を、図 - 1 に示す。供試体の形状は、小型梁のシリーズ 1 と大型梁のシリーズ 2

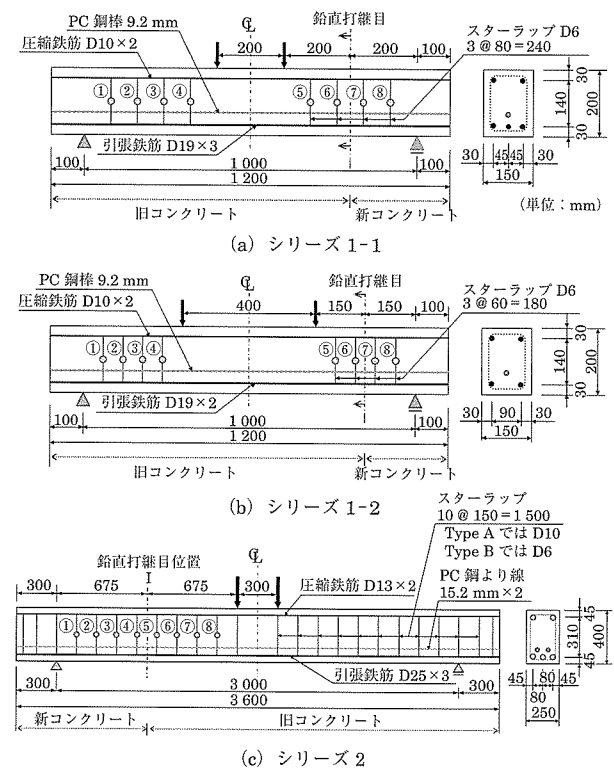


図 - 1 供試体の形状寸法および配筋方法

の 2 種類に分けた。また、シリーズ 1 では、同じ形状寸法ではあるが、せん断スパン比および鉄筋比が異なるシリーズ 1-1 とシリーズ 1-2 に分けた。

シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 の供試体は、高さを 200 mm、幅を 150 mm とする矩形断面で、打継ぎ後の供試

*1 Mitsutoshi YAMAGUCHI : ㈱ 富士ビー・エス 施工本部 関東支店 工事チーム

*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

体の長さが 1 200 mm となるようにした。また、シリーズ 1-1 はせん断スパン比 (a/d) を 2.35, 引張鉄筋比 (p_w) を 3.37 % (引張鉄筋: D 19 を 3 本) に、シリーズ 1-2 はせん断スパン比 (a/d) を 1.76, 引張鉄筋比 (p_w) を 2.25 % (引張鉄筋: D 19 を 2 本) とした。せん断スパン内に配置するスターラップは、シリーズ 1-1 は D 6 を 80 mm 間隔で、シリーズ 1-2 は D 6 を 60 mm 間隔で 4 本ずつ配置した。

シリーズ 2 の供試体は、高さを 400 mm で、幅を 250 mm とする矩形断面で、打継ぎ後の供試体の長さが 3 600 mm となるようにした。せん断スパン比 (a/d) は 3.80 で、引張鉄筋比 (p_w) は 1.71 % (引張鉄筋: D 25 を 3 本) とした。スターラップは、配筋量を変えた Type A と Type B の 2 種類とし、Type A は D 10 を、Type B は D 6 を、それぞれ 150 mm 間隔で、せん断スパン内に 8 本ずつ配置した。

表 - 1 供試体の種別

		供試体名	コンクリート強度※1 (N/mm ²)	打継目※2		プレスト レス導入 率※3	破壊荷重比 P _v /P _M ※4
				位置	処理		
シリーズ 1-1		1N	51.3 (新) 47.3 (旧)	無	—	一体型	0.72
		1NA		せん断 スパン 中央	有	無補強	
		1NB			無		
		1NA - PC40			有	40	0.73
		1NB - PC40			無		
		1NA - PC80			有	80	0.76
		1NB - PC80			無		
		1H	79.3 (新) 77.7 (旧)	無	—	一体型	0.73
		1HA		せん断 スパン 中央	有	無補強	
		1HB			無		
		1HA - PC40			有	40	0.74
		1HB - PC40			有		
		1HA - PC80			無	80	0.77
		1HB - PC80			有		
シリーズ 1-2		2N	54.1 (新) 55.2 (旧)	無	—	一体型	0.79
		2NA		せん断 スパン 中央	有	無補強	
		2NB			無		
		2NA - PC40			有	40	0.80
		2NB - PC40			無		
		2NA - PC60			有	60	0.82
		2NB - PC60			無		
		2NA - PC80			有	80	0.83
		2NB - PC80			無		
		2H	83.3 (新) 81.1 (旧)	無	—	一体型	0.81
		2HB		せん断 スパン 中央	無	無補強	
		2HB - PC40			無		
		2HB - PC60			無	60	0.83
		2HB - PC80			無	80	0.85
シリーズ 2	Type A	A0		30.4 ~ 36.1 (新)	無	—	一体型
		A1	断面 I		有	無補強	
		A1 - PC		80	1.33		
		B0	21.2 ~ 34.4 (新)	無	—	一体型	0.98
		B1		断面 I	有	無補強	
		B1 - PC	25.1 ~ 30.4 (旧)		80		

*1 : (新) 新コンクリート, (旧) 旧コンクリート

*2 : 打継目処理有-ワイヤブラシで粗く削る

*3 : 数字は PC 鋼材の 0.2 % 永久伸びに対する荷重の百分率を示す

*4 : 破壊荷重比 (せん断耐力時の作用荷重 / 曲げ耐力時の作用荷重)

シリーズ 1-1 の載荷方法は、等曲げモーメント区間を 200 mm, スパンを 1 000 mm とし、シリーズ 1-2 はそれぞれ 400 mm, 1 000 mm, シリーズ 2 はそれぞれ 300 mm, 3 000 mm とする 2 点集中静的漸増載荷とした。

2.2 供試体の種別および製作方法

供試体の種別を表 - 1 に示す。各シリーズともに、打継目の無い一体型、打継目を設けた RC 梁供試体およびプレストレスを導入した PPC 梁供試体を製作して比較した。打継目の位置は、せん断耐力がもっとも低下するとされるせん断スパン中央に 1 ヲ所設けた²⁾。

使用した鉄筋および PC 鋼材の種類を表 - 2 に、プレストレス導入後の応力状態を表 - 3 に示す。シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 では PC 鋼棒を、シリーズ 2 では PC 鋼より線を用いた。鋼材の偏心量 (e_p) は、シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 で 30 mm, シリーズ 2 で 110 mm とした。プレストレスの導入方式はポストテンション方式とし、緊張後は PC グラウトによる充てんは行わず、アンボンド PPC 梁とした。また、PC 鋼材のリラクセーションやコンクリートのクリープおよび乾燥収縮等によるプレストレス量の減少を排除するため、載荷試験直前にプレストレスの導入を行った。

コンクリートの配合を表 - 4 に、載荷試験時の圧縮強度を表 - 1 に示す。旧コンクリートを打継目位置まで打ち込み、材齢 24 時間後に脱型して、引き続き打継面を処理した。打継面の処理状態を写真 - 1 に示す。両シリーズともに、ワイヤブラシを用いて粗骨材が見える程度まで水洗い処理した。新コンクリートは、旧コンクリートの材齢 48 時間後に打ち込み、その後、材齢 28 日まで湿布養生した。

小型供試体の名称は、シリーズ 1-1 を「1」、シリーズ 1-2 を「2」として先頭に表記した。また、コンクリート強度別に、通常強度を「N」、高強度を「H」とし、打継目を処理

表 - 2 鉄筋および PC 鋼材の種類と適用

供試体種別		圧縮鉄筋	引張鉄筋	スターラップ	PC 鋼材
シリーズ 1-1	通常強度	SD295A	SD345	SD295A	PC 鋼棒 呼び径 9.2 mm*1
	高強度	D10	D19	D6	
シリーズ 2	Type A	SD295A	SD345	SD295A	PC より線 15.2 mm*2
	Type B	D13	D25	SD295A	PC より線 15.2 mm*3
				D6	

*1 : SWPR1080 / 1230, C 種 1 号, 0.2 % 永久伸びに対する荷重 83.0 kN, 引張強さ 84.8 kN

*2 : SWPR7BN, 0.2 % 永久伸びに対する荷重 241 kN, 引張強さ 274 kN

*3 : SWPR7BN, 0.2 % 永久伸びに対する荷重 222 kN, 引張強さ 261 kN

表 - 3 プレストレス導入後の応力状態

供試体種別		プレストレス導入率 (%) *1	引張縁 (N/mm ²)	圧縮縁 (N/mm ²)
シリーズ 1-1 シリーズ 1-2		80	3.64	0.19
		60	2.72	0.14
		40	1.81	0.10
シリーズ 2	Type A	80	5.11	1.25
	Type B	80	5.02	1.12

*1 : 0.2 % 永久伸びに対する荷重の百分率

表-4 コンクリートの配合

供試体種別		粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
							W	C	S	G	混和剤
シリーズ 1-1	通常強度	15	8.0	4.0	60	49	185	309	911	982	1.85
	高強度				30	45	185	618	697	928	5.41
シリーズ 1-2	通常強度				55	49	185	337	876	993	1.26
	高強度				30	45	185	618	697	928	5.41
シリーズ 2	Type A	20		2.0	57	50	137	240	1 008	1 039	3.36
	Type B	2		4.5	55.5	44	154	278	817	1 048	1.04



シリーズ 1-1, シリーズ 1-2

シリーズ 2

写真-1 打継面の処理状態

した場合を「A」、無処理を「B」とした。プレストレスの導入率は、シリーズ 1-1 では 0.2 % 永久伸びに対する荷重の 40 % と 80 % の 2 水準、シリーズ 1-2 では 40 %, 60 %, 80 % の 3 水準に変化させ、それぞれ「PC40」, 「PC60」, 「PC80」と付記した。小型供試体の設計では、せん断性状を明確にするためにせん断破壊を想定した。すなわち、破壊荷重比 (P_V / P_M) を、シリーズ 1-1 は 0.73 ~ 0.77, シリーズ 1-2 は 0.80 ~ 0.85 に設定した。

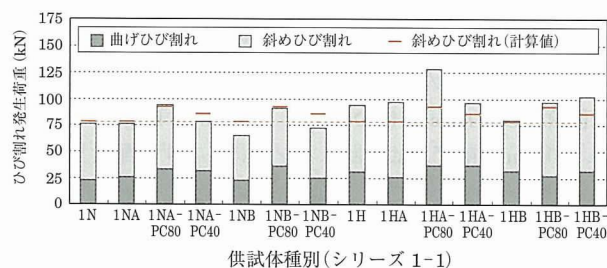
シリーズ 2 の大型供試体では、スターラップの配筋量を 2 水準に変化させ、Type A では D 10 を、Type B では D 6 を用いた。このときの Type B の配筋量は、Type A に対する 44 % である。また、打継面は処理した場合のみとし、プレストレスの導入率は 0.2 % 永久伸びに対する荷重の 80 % のみとした。

3. ひび割れ性状

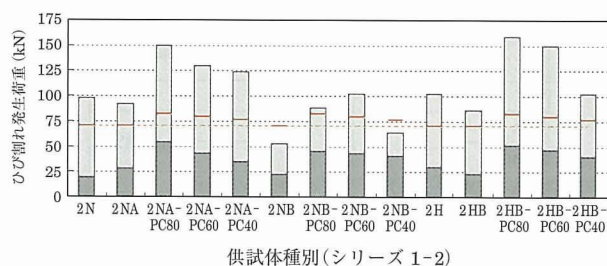
3.1 小型 PPC 梁の曲げひび割れおよび斜めひび割れ発生荷重

シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 における曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重を図-2 に示す。曲げひび割れ発生荷重は、供試体の引張縁に貼付したひずみゲージと側面に設置したパイ型変位計により計測し、ひずみが急激に変化した時の荷重とした。また、目視で確認した曲げひび割れの発生位置は、すべて等曲げモーメント区間内であった。PPC 梁の曲げひび割れ発生荷重は、いずれも一体型の RC 梁より大きく、プレストレスの導入量が大きいほど曲げひび割れ発生荷重は大きくなる傾向がシリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 とともに認められた。

斜めひび割れ発生荷重は、打継目を有する側のせん断スパン内のスターラップが引張力を受け始め、ひずみが急激に増加した時の荷重とし、同時に目視でもひび割れの発生



供試体種別 (シリーズ 1-1)



供試体種別 (シリーズ 1-2)

図-2 曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重 (シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2)

を確認した。斜めひび割れ発生荷重の計算値として示した値は、コンクリート標準示方書 [設計編]⁴⁾ に示されている棒部材のせん断耐力式において、コンクリートが分担するせん断耐力 (V_{cd}) を算出したものである。算出にあたっては、材料係数および部材係数を 1.0 とし、コンクリートの圧縮強度には実強度の平均値を用いた。また、プレストレスによる軸力は、せん断耐力式における係数 β_n において考慮した。

シリーズ 1-1 の打継面を処理した PPC 梁「1NA - PC80」「1HA - PC80」の斜めひび割れ発生荷重は、一体型と比較してそれぞれ 24 % (18 kN), 36 % (34 kN) の増加が認められた。また、シリーズ 1-2 の「2NA - PC40」「2NA - PC60」「2NA - PC80」においても、プレストレスの導入量の増加に伴い、斜めひび割れ発生荷重は 27 ~ 53 % の増加となり、プレストレスの導入量が大きいほど斜めひび割れの発生を抑制できることが認められた。また、計算値は、シリーズ 1-1 の通常強度コンクリートの実験値と近い結果となり、「1NA - PC80」では係数 β_n において考慮したプレストレスによる増分もほぼ一致していた。

また、シリーズ 1-1 において、コンクリート強度が大きくなると、「1HA - PC80」や「1HA - PC40」のように、斜めひび割れの発生荷重は計算値よりも大きくなる傾向にある。これは、60 N/mm² 以上の高強度コンクリートにおいて

は、コンクリートのせん断耐力 (V_{cd}) が頭打ちになる知見が算定式に考慮されているためである。

打継面を無処理とした場合、「1NB - PC80」の斜めひび割れ発生荷重は、一体型の「1N」と比較して 12 % (18 kN) の増加が認められたが、「1NB - PC40」、「1HB - PC80」および「1HB - P40」は同程度にとどまった。また、せん断スパン比の小さいシリーズ 1-2 において、通常強度の「2NB - PC80」、「2NB - PC40」は、一体型の「2N」と比較すると、それぞれ - 10 % (- 10 kN), - 34 % (- 34 kN) の斜めひび割れ発生荷重の低下を示し、プレストレスの導入効果が得られなかった。なお、高強度コンクリートを用いた「2HB - PC80」、「2HB - PC60」では、それぞれ、55 % (57 kN), 47 % (48 kN) と斜めひび割れ発生荷重の大幅な増加が認められた。実験に用いた高強度コンクリートはセメント量が多く、材齢初期では未水和のセメントも多い。旧コンクリートの材齢で 48 時間後に新コンクリートを打ち継いでいるため、水和の進行により付着強度が増加することも一つの要因と思われる。打継面が無処理である PPC 梁では、プレストレスの導入量に応じた一定の傾向は認められず、場合によっては一体型の RC 梁と同等かそれ以下の荷重で斜めひび割れを生じる可能性がある。

3.2 小型 PPC 梁の斜めひび割れ性状

シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 における各 RC 梁、PPC 梁のひび割れ発生状況を図 - 3 および図 - 4 に示す。図中の破線は、打継目を示している。

打継面を処理した RC 梁「NA」および「HA」は、一体型の RC 梁と同様に、支点と載荷点とを結ぶように斜めひび割れが生じた。しかし、打継面を無処理とした RC 梁「NB」および「HB」は、引張鉄筋および圧縮鉄筋位置の近傍に斜めひび割れが生じ、打継目位置で斜めひび割れが不連続に生じた (以降、不連続なひび割れと称す)。

同様に、打継面を処理した PPC 梁は、「1NA - PC40」を除いて、シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 とともに、打継目での不連続なひび割れの発生は認められない。また、プレストレスの導入量で比較すると、プレストレスの導入量が大きいほど、打継目の近傍のひび割れ性状が改善される傾向が認められた。これは、打継面の状態が十分に粗面であれば、プレストレスの導入により生じる圧縮力が、打継面の骨材のかみ合い作用および摩擦力に付与し、せん断力の伝達がよりスムーズに行われるためと考えられる。

一方、打継面を無処理とした場合、とくにせん断スパン比の小さいシリーズ 1-2 では、プレストレスの導入率によらず、すべての供試体で斜めひび割れが打継目で不連続に生じた。ひび割れの発生順序は、斜めひび割れが不連続に生じた後、打継面の PC 鋼材位置を通るように斜めひび割れが分散して生じた。なお、せん断スパン比が大きいシリーズ 1-1 では、高強度コンクリートの「1HB - PC80」で、圧縮鉄筋位置に斜めひび割れが認められたが、その他の供試体は、ひび割れが不連続に生じることは軽減され、引張鉄筋位置に斜めひび割れが認められる程度であった。

打継面が無処理である場合、曲げひび割れが打継目に沿って容易に発達する。打継面が平滑であるために、曲げひ

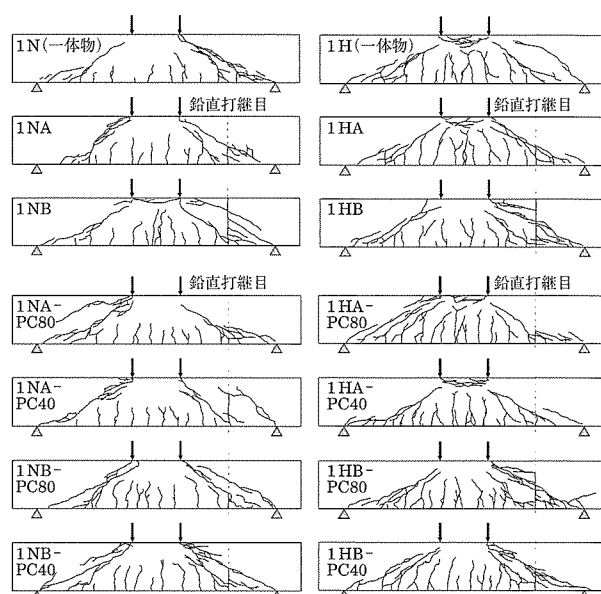


図 - 3 小型 PPC 梁のひび割れ発生状況 (シリーズ 1-1)

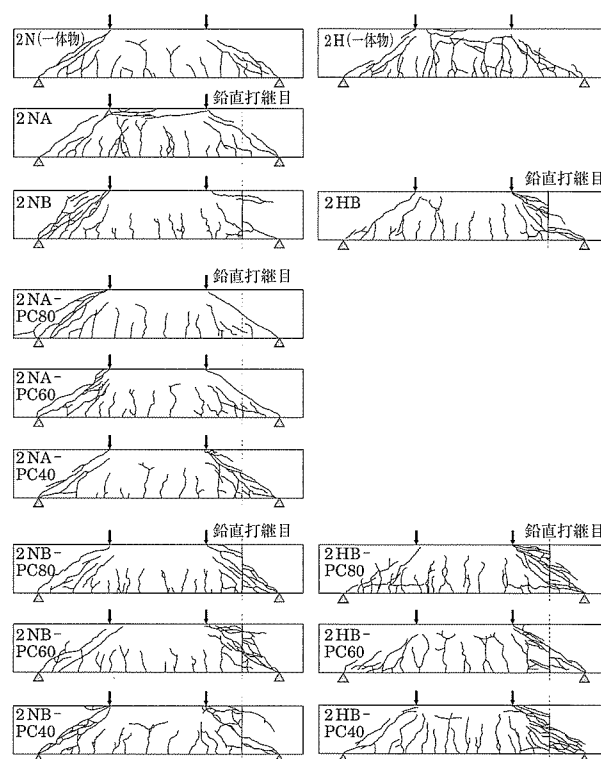


図 - 4 小型 PPC 梁のひび割れ発生状況 (シリーズ 1-2)

び割れ発生後では、プレストレスの導入による打継面の摩擦力および骨材のかみ合い作用に期待できず、せん断伝達力はきわめて小さくなると考えられる。そのため、軸方向鉄筋位置に応力が集中し、PPC 梁とした場合でも斜めひび割れは不連続に発生する場合がある。この傾向は、せん断スパン比が小さい供試体ほど顕著であった。

3.3 大型 PPC 梁のひび割れ性状

大型の RC 梁および PPC 梁のひび割れ発生状況を図 - 5 に、曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重を

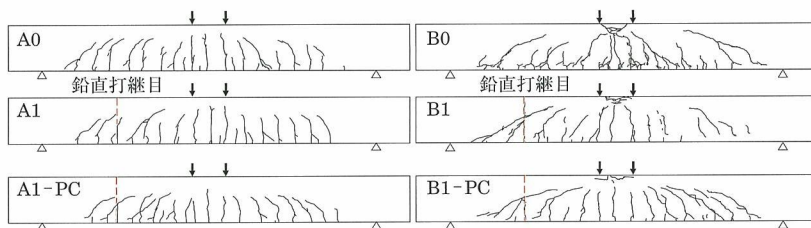


図-5 大型 PPC 梁のひび割れ発生状況 (シリーズ 2)

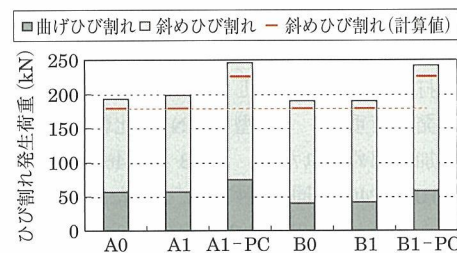


図-6 曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重 (シリーズ 2)

図-6に示す。

シリーズ 2 の供試体は、打継面の処理を行っており、かつ曲げ破壊が先行したため、打継部の不連続なひび割れなどは認められなかった。Type A および Type B とともに、プレストレスを導入した供試体はひび割れの分散性が向上した。また、B1 供試体において、打継目部分の圧縮縁まで達していたひび割れも、プレストレスを導入した「B1 - PC」では、その進展が抑制された。なお、スターラップの配筋量を少なくした Type B は、Type A と比較して斜めひび割れが卓越した。

プレストレスを導入した「A1 - PC」と「B1 - PC」の斜めひび割れ発生荷重は、一体型と比較するといずれも 27 % (53 kN) 増加した。また、実験値は計算値より若干大きい値ではあるが、プレストレスを導入することによる荷重の増加傾向は、おおむね一致している。打継面の処理が適切である場合、プレストレスを導入することで、ひび割れ性状を改善できるとともに、コンクリートのせん断耐力の向上を期待できることが大型の PPC 梁でも認められた。

4. 破壊形式および最大荷重

各 RC 梁、PPC 梁の破壊形式、最大荷重を表-5に示す。小型供試体における破壊形式は、せん断破壊を想定していたが、曲げ破壊を示すものも見られた。また、せん断破壊の形式は、せん断圧縮破壊（一般的に $1.0 < a/d < 2.5$ ）、あるいは斜め引張破壊（一般的に $2.5 < a/d < 6.0$ ）に相当したが、ここでは統一してせん断破壊と記述する。

シリーズ 1-1 において、通常強度コンクリートを用いた PPC 梁の最大荷重は、打継面の処理の良否によらず一体型の RC 梁より大きくなる傾向を示した。とくに、打継面が無処理である「1NB - PC80」で 22 % (46 kN)、「1NB - PC40」で 42 % (88 kN) の増加が認められた。

また、シリーズ 1-1 の高強度コンクリートを用いた供試体において、打継面を処理した PPC 梁は曲げ破壊を、打継面を無処理とした PPC 梁はせん断破壊を呈した。打継面を無処理とした RC 梁「1HB」は一体型の「1H」と比較して 12 % (38 kN) の最大荷重の低下が認められたが、プレストレスの導入量を 80 % とした「1HB - PC80」では、一体型以上の最大荷重に改善された。

シリーズ 1-2 において、「2NA - PC80」および「2NA - PC60」を除く PPC 梁は、すべて打継目側のせん断スパンで破壊を生じた。打継面を処理した PPC 梁は、プレストレスの導入量に対応して、最大荷重も大きくなる傾向が認めら

れたが、打継面を無処理とした場合には、「2NB - PC60」のように、改善効果が得られない場合がある。このことは、高強度コンクリートを用いた場合も同様であった。

シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 のいずれにおいても、打継面の処理を行った PPC 梁は最大荷重の低下は認められず、プレストレスの導入量に対応して最大荷重も増加

表-5 破壊形式および最大荷重

供試体名		破壊形式	曲げひび割れ発生荷重 (kN)	斜めひび割れ発生荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	引張鉄筋降伏荷重 (kN) *1
シリーズ 1-1	1N	せん断	23	76	208	— *2
	1NA		26	76	214	— *2
	1NA - PC80		33	94	272	— *2
	1NA - PC40		32	78	217	— *2
	1NB	曲げ引張	23	65	277	267
	1NB - PC80		36	91	254	— *2
	1NB - PC40		25	72	296	271
	1H	曲げ引張	31	94	310	286
	1HA		26	97	301	274
	1HA - PC80		37	128	341	319
	1HA - PC40		37	96	334	296
	1HB	せん断	32	80	272	— *2
	1HB - PC80		27	97	319	316
	1HB - PC40		32	102	296	282
シリーズ 1-2	2N	せん断	19	98	300	258
	2NA	曲げ引張	28	92	303	253
	2NA - PC80		54	150	342	320
	2NA - PC60		43	130	337	317
	2NA - PC40		35	124	315	300
	2NB	せん断	22	53	214	— *2
	2NB - PC80		45	88	316	— *2
	2NB - PC60		43	102	276	— *2
	2NB - PC40		41	64	326	305
	2H	曲げ引張	30	102	345	280
	2HB		23	86	299	283
	2HB - PC80		51	159	311	— *2
	2HB - PC60		47	150	353	331
	2HB - PC40		40	102	345	314
シリーズ 2	Type A A0	曲げ引張	57	193	291	277
	A1		57	199	294	285
	A1 - PC		74	246	367	348
	Type B B0	曲げ引張	40	191	302	291
	B1		41	190	302	291
	B1 - PC		58	244	369	360

*1：引張鉄筋のひずみが 2000 μ を超えて急激に上昇した時の荷重

*2：引張鉄筋降伏前の破壊

する傾向を示した。しかしながら、打継面が無処理であると、プレストレスを導入しても一体型の RC 梁の耐力以下で破壊に至る場合もある。

大型の梁における破壊形式は、引張鉄筋の降伏後にコンクリートの圧縮縁が圧壊する曲げ引張破壊であった。Type A, Type B ともに、プレストレスを導入した PPC 梁の引張鉄筋の降伏荷重および最大荷重は、一体型と比較して 2 割程度の増加が認められた。

5. スターラップの挙動

斜めひび割れ発生後では、作用するせん断力に対してスターラップのひずみ量の増加割合が顕著となる。各荷重レベルにおけるスターラップのひずみを、図 - 7, 8 に示す。横軸のスターラップの番号は、図 - 1 に示すスターラップの番号と対応している。すなわち、シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2 の小型供試体は ⑥ と ⑦ の間に、シリーズ 2 の大型供試体は ④ と ⑤ の間に、それぞれ打継目が存在する。

5.1 小型 PPC 梁のスターラップひずみ

シリーズ 1-1 の打継面を処理した RC 梁「1NA」および「1HA」は、左右のスターラップひずみの増加傾向とひずみの分布に大きな偏りはなく、一体型の「1N」と「1H」と比較して、ひずみの増加傾向はおおむね同等と考えられる。また、打継面を処理した PPC 梁は、一体型の RC 梁と比較すると、等しい荷重レベルにおいて、スターラップのひず

みは抑制されることが認められた。また、この傾向は、シリーズ 1-2 においても同様であった。

一方、打継面を無処理とした場合、打継目を有する側のせん断スパンにおいて、スターラップのひずみが局所的に増加する傾向が認められた。スターラップのひずみが局所的に増加する位置は、シリーズ 1-1 では打継目より載荷点側の ⑥ のスターラップであり、シリーズ 1-2 では打継目より支点側の ⑦ のスターラップであった。図 - 2 に示したように、打継面を無処理とした場合には、打継面に沿うように曲げひび割れが生じ、軸方向鉄筋位置に応力が集中することで、軸方向鉄筋に沿うように斜めひび割れが生じて、斜めひび割れは打継目位置で不連続に発達する。そのため、鉄筋周辺の定着が失われ、コンクリートの負担するせん断抵抗力が低下し、スターラップが負担するせん断力が大幅に増加するものと考えられる。このことは、せん断スパン比の小さいシリーズ 1-2 において顕著であり、圧縮鉄筋位置までひび割れが到達するような場合には、打継部の圧縮領域のコンクリート断面積が相当小さくなることも、せん断耐力低下の要因と考えられる。

また、高強度コンクリートを用いた場合では、通常強度コンクリートを用いた場合と比べて、等しい荷重レベルにおける各断面のひずみ量は小さくなる傾向が認められた。これは、コンクリートを高強度化することで、コンクリートのせん断耐力が増加したことが影響していると考えられる。なお、打継面が無処理であると、斜めひび割れの発生

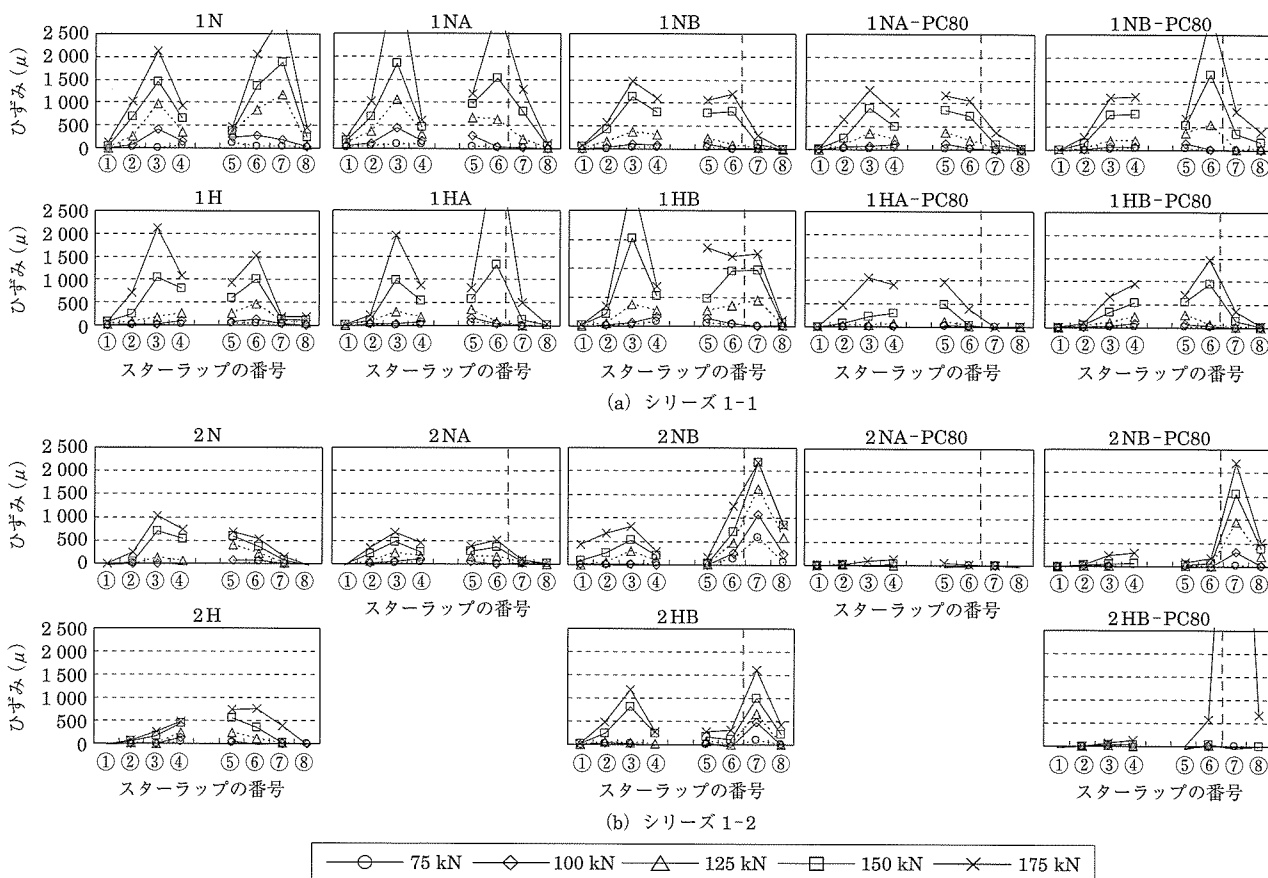


図 - 7 各荷重レベルにおけるスターラップのひずみ (シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2)

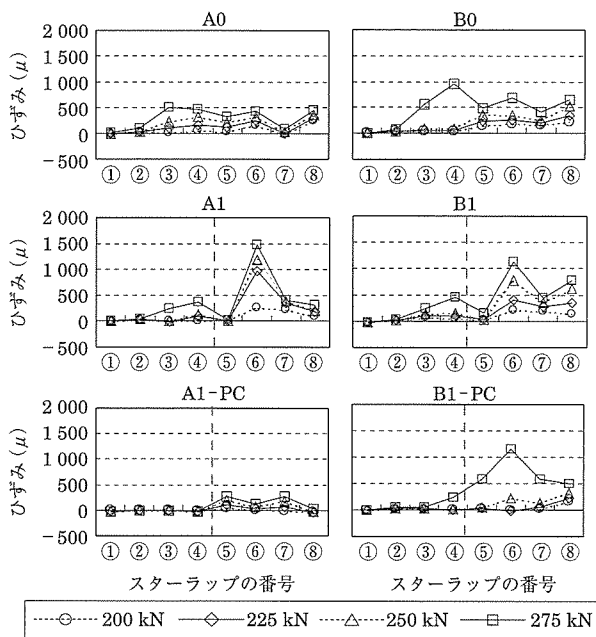


図-8 各荷重レベルにおけるスターラップのひずみ (シリーズ2)

後において、スターラップのひずみが局所的に増加する傾向は、高強度コンクリートを用いたRC梁およびPPC梁でも同様であった。とくに、「2HB-PC80」のように急激なひずみの増加も認められた。

5.2 大型 PPC 梁のスターラップひずみ

シリーズ2について、各荷重レベルにおけるスターラップのひずみを図-8に示す。一体型であるRC梁「A0」および「B0」は、全体的にひずみが増大しているが、打継目を有するRC梁「A1」および「B1」は、打継目より荷点側に位置する⑥のスターラップのひずみが局所的に増加した。打継面を処理した小型のRC梁では、スターラップのひずみへの影響は顕著ではなかったが、大型のRC梁においては、打継面の処理を行った場合でも、スターラップのひずみが増加する可能性があることが認められた。

また、「A1-PC」および「B1-PC」は、プレストレスの導入効果により、斜めひび割れ発生前（250 kN 以前）の低い荷重レベルにおいて、スターラップのひずみは大幅に抑制されているが、斜めひび割れ発生後から 275 kN レベルに達する間において「B1-PC」は急激にひずみが増加した。「B1-PC」はスターラップの配筋量が少なく、「B1」供試体と同様に、斜めひび割れは打継目を跨ぐように大きく発達したことにより、コンクリートの分担せん断力が低下し、スターラップのひずみが増大したものと考えられる。

6. 分担せん断力

作用するせん断力と断面内部で各種作用によって分担されるせん断力（以下、分担せん断力と称す）との関係を模式的に表した概念図⁵⁾を図-9に示す。スターラップをもつ梁部材は、外的に作用するせん断力に対して、曲げひび割れ発生前においては、主としてコンクリートで抵抗し、曲げひび割れが生じると、コンクリート、鉄筋のダウエル

作用、骨材のかみ合い効果によって分担される。そして、斜めひび割れ発生後には、スターラップも作用せん断力の一部を分担する。

打継目の存在は、不連続なひび割れによるダウエル作用の低下や、骨材のかみ合い作用の減少などによって、それぞれが分担するせん断力の低下が懸念されるが、その低下分をスターラップが補うことになる。

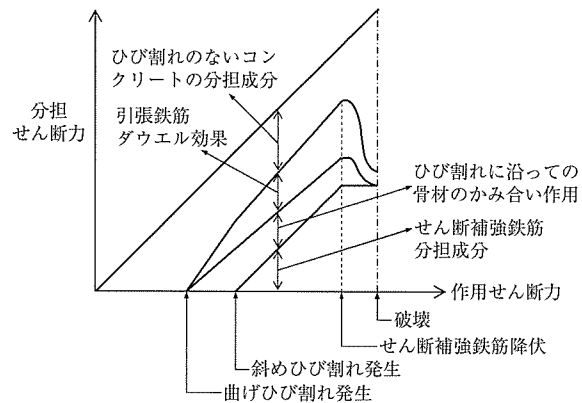


図-9 打継面でのせん断力の各分担成分⁵⁾

シリーズ1-1 およびシリーズ1-2 における作用するせん断力と分担せん断力の関係を図-10に示す。コンクリート、鉄筋のダウエル作用、骨材のかみ合い作用による各分担せん断力を個別に評価することは困難なため、これら各分担せん断力をまとめてコンクリートの分担せん断力 V_c として、作用せん断力 V からスターラップに作用するせん断力 V_s を減じた値で示した。

算出にあたっては、打継目を有する側のせん断スパン内に配置したスターラップのひずみの最大値を用いて、式(1)により、スターラップの分担せん断力 V_s を算出した。なお、スターラップは降伏後において、それ以上のせん断力を分担しないとして、スターラップが降伏するまでを検討の対象とした。

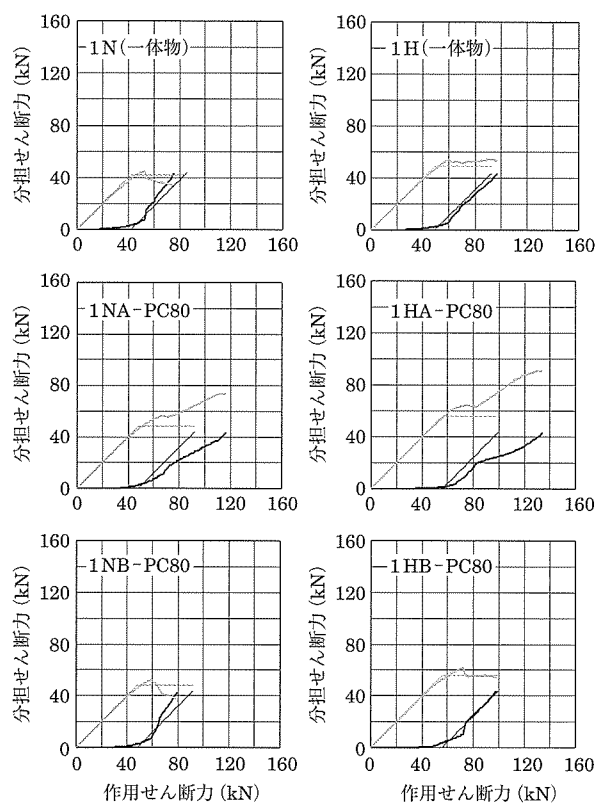
計算値は、作用せん断力がコンクリートのせん断耐力を超えると斜めひび割れが発生し、その後の作用せん断力の増加分はスターラップの分担せん断力が比例的に増加すると仮定して算出した。なお、シリーズ1-2のように a/d の小さい梁では、荷点と支点を結ぶ圧縮ストラットの形成が卓越するため適合性が低くなるが、ここでは便宜的に適用した。

$$V_s = A_w \sigma_w (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) z / s$$

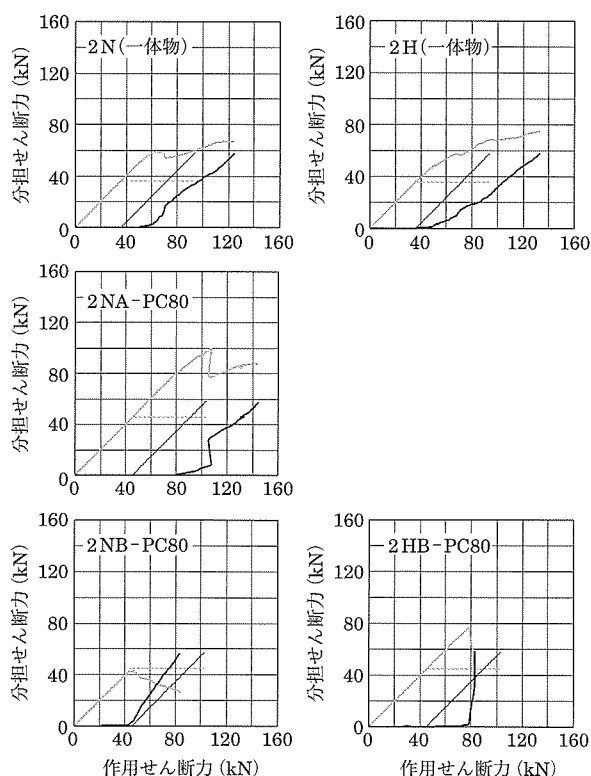
$$= A_w E_s \epsilon_s z / s \quad (1)$$

$$V_c = V - V_s \quad (2)$$

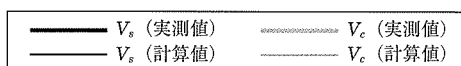
ここに、 A_w ：一組のせん断補強鉄筋の断面積、 σ_w ：せん断補強鉄筋の応力度（実験値）、 s ：せん断補強鉄筋の間隔、 z ：コンクリートの圧縮応力の合力の作用位置から引張鉄筋までの距離（梁の有効高さ d を 1.15 で除した値）、 α_s ：せん断補強筋が部材軸となす角度



(a) シリーズ 1-1



(b) シリーズ 1-2

図 - 10 作用するせん断力と分担せん断力の関係
(シリーズ 1-1 およびシリーズ 1-2)

6.1 小型 PPC 梁 (シリーズ 1-1) の分担せん断力

シリーズ 1-1 の一体型 RC 梁「1N」および「1H」のスターラップの分担せん断力は、計算値に比較的近い値となった。また、打継目を処理した PPC 梁は、斜めひび割れ発生後におけるスターラップの分担せん断力の増加割合が低減された。これは、図 - 7 に示したように、プレストレスによる圧縮力の作用により、打継面でのせん断伝達がスムーズに行われ、ひずみの増分が複数のスターラップに分散され、局所的なスターラップのひずみ増加が抑制されたためと考えられる。

一方、打継目が無処理であると、「1NB - PC80」, 「1HB - PC80」のように、コンクリートが受けもつ分担せん断力が、計算値よりも小さくなる場合が認められた。これは、不連続なひび割れによって打継部の圧縮領域となるコンクリート部分が減少することや打継面が無処理であることによる骨材のかみ合い作用の低下によって、コンクリートが分担するせん断力が低下したことが要因と考えられる。その結果、打継目近傍のスターラップが降伏することで破壊に至る可能性があることを示唆している。

6.2 小型 PPC 梁 (シリーズ 1-2) の分担せん断力

シリーズ 1-2 において、打継目を処理した PPC 梁「2NA - PC80」は、せん断ひび割れが卓越しなかったことから、斜めひび割れ発生後においても、コンクリートがせん断力を十分に分担している。一方、打継面を無処理とした PPC 梁「2NB - PC80」では、シリーズ 1-1 と同様に斜めひび割れ発生後のコンクリートの分担せん断力が計算値より小さくなり、一体型の RC 梁よりも早期にスターラップがせん断力を分担している。とくに、通常強度コンクリートを用いた PPC 梁では、打継目の処理の差異が顕著であった。

また、高強度コンクリートを用いた PPC 梁「2HB - PC80」では、コンクリートを高強度化することで、斜めひび割れの発生を大幅に遅らせることができていたが、その後のスターラップのひずみの増加は顕著であり、脆性的なせん断破壊が懸念される。

7. ま と め

本文は、打継目を有する PPC 梁のせん断性状を確認することを主目的として、せん断スパン比の異なる小型および大型の RC 梁にプレストレスを導入した PPC 梁を作製し、プレストレスによる軸力が打継目を有する PPC 梁に及ぼす影響を斜めひび割れ性状、せん断耐力およびスターラップのひずみ性状の観点から実験的に検討した。その結果、本研究の範囲内で以下の知見を得た。

(1) 鉛直打継目はその処理状態が良好であれば、せん断性状に及ぼす影響は小さいことを、せん断スパン比および鉄筋比の異なる 2 種類の小型 RC 梁において確認した。また、これにプレストレスを導入した PPC 梁は、同じ荷重レベルにおけるスターラップのひずみを低減し、斜めひび割れの発生を遅らせるとともに、斜めひび割れ発生後におけるスターラップの分担せん断力の増加割合を小さくすることができる。また、プレストレス量が大きいくほど、その改善効果は高くなる。

(2) 打継面が無処理である PPC 梁のひび割れ性状は、RC 梁と同様に、打継目において斜めひび割れが不連続に発生した。そして、斜めひび割れ発生後のスターラップのひずみが局所的に増加してせん断耐力が低下するなど、せん断性状に悪影響を及ぼす可能性が高くなる。このことは、せん断スパン比が小さい PPC 梁ほど顕著に現れた。

(3) 打継面が無処理であっても、プレストレスを導入することにより、斜めひび割れ発生前の低い荷重レベルにおいて、スターラップひずみの増加は抑制され、その結果、斜めひび割れ発生荷重を高くできる場合もある。しかし、一度、打継目部が弱点となると、ひずみの増加は打継目近傍のスターラップに集中し、脆性的なせん断破壊を生じやすい。このことは、高強度コンクリートを用いた場合に顕著に現れた。

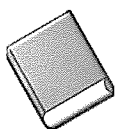
(4) 打継目を処理した大型の PPC 梁は、斜めひび割れ発生前の低い荷重レベルにおいて、スターラップに作用するひずみの増加が大幅に低減されることが認められた。しか

しながら、斜めひび割れ発生後においては、スターラップのひずみが局所的に増加する可能性がある。

参考文献

- 1) 山口光俊, 辻 幸和, 杉山隆文, 池田正志: 鉛直打継目を有する RC はりのスターラップの補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, 第 21 巻, 第 3 号, pp.469 - 474, 1999.7
- 2) 辻 幸和, 杉山隆文, 山口光俊: 鉛直打継目を有する RC はりの銅板被覆による補強効果, 土木学会論文集, No.697 / V - 54, pp.179 - 192, 2002.2
- 3) 辻 幸和, 杉山隆文, 池田正志: 鉛直打継目を有する RC 梁のせん断性状におけるプレストレスの導入効果, プレストレストコンクリート, Vol.44, No.3, pp.70 - 76, 2002.5
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編] (平成 2007 年制定), pp.131 - 141
- 5) 渡辺 明, 藤井 学, 小林和夫: 新体系土木工学 34 プレストレストコンクリートの力学, pp71 - 74, 技報堂出版, 1981.4

【2010 年 1 月 20 日受付】



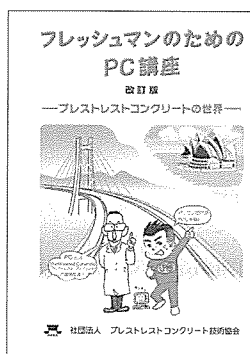
図書案内

フレッシュマンのためのPC講座・改訂版

— プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのためのPC講座」も平成 9 年に第一版が発刊されてから約 10 年が経過いたしました。

その間に、基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系から SI 単位系に移行しました。また、プレストレストコンクリート構造物においても、複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで、これらの項目を新しく見直して、改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには、大変有意義な図書であると確信しておりますので、是非有効利用されることをお勧めいたします。



主な改訂項目

- ・従来単位系から SI 単位系に変更しました。
- ・PC を利用した構造物の紹介に、最近の新しい構造物を盛り込みました。

発 刊 日: 2007 年 3 月

定 価: 3,600 円/送料 400 円/冊

会 員 特 価: 3,000 円/送料 400 円/冊

体 裁: A 4 判, 140 頁

申 込 先: 社団法人プレストレストコンクリート技術協会