

## 超高強度膨張コンクリートを用いたプレテンションPCはりの構造挙動

(株)ピーエス三菱 正会員 修士(工学) 川畑 智亮  
 広島大学大学院 正会員 工学博士 佐藤 良一  
 (株)ピーエス三菱 正会員 博士(工学) 鈴木 雅博

Strength and deformation of pretensioned prestressed concrete(PC) beams without shear reinforcement, made of three types ultra high-strength concrete(UHSC) with high and low shrinkage as well as conventional concrete for PC girders are experimentally investigated. Expansive UHSC was effective in enhancing the flexural cracking strength as well as diagonal cracking strength of PC beams compared with that of a companion UHSC beam with high shrinkage, while the diagonal cracking strength of RC beams is known to decrease in high strength region.<sup>1)</sup> All of beams failed in compression concrete coupled with exfoliation of cover concrete.

Key words : ultra high-strength concrete, shrinkage, shear strength, prestress

### 1. はじめに

コンクリート構造物はライフサイクルコストを抑制した技術が求められるようになり、超高強度コンクリートをプレストレストコンクリート(以下PC)部材に適用した場合、高強度による低桁高化や硬化体の組織の緻密化による高耐久化から、こうした社会的要請に対する1つの方策になると考えられる。一方で、超高強度コンクリートは自己収縮ひずみが大きくなることが知られている<sup>2)</sup>。この自己収縮ひずみと鉄筋等の拘束によりひび割れに対するリスクが大きくなり、超高強度コンクリートを用いたRC部材のひび割れの報告<sup>3)</sup>や、せん断耐力を低下させるとの報告<sup>4)</sup>がなされている。このことから、超高強度コンクリートの高耐久・高強度の利点を発揮できなくなる可能性がある。こうした背景から、これまでに自己応力を低減するために小型供試体を用いた基礎試験を行い、廃瓦粗骨材、膨張材、および収縮低減剤を用いることにより拘束応力を大幅に低減できること<sup>5)</sup>を明らかにしてきた。しかしながら、この超高強度膨張コンクリートは実規模のPC部材のせん断特性などが明確になっていない。本論文は、実構造物への適用化を目的に、廃瓦粗骨材、膨張材および収縮低減剤を混入した超高強度膨張コンクリートを用いたプレテンションPC部材の載荷試験を行い、せん断特性などの構造挙動を把握した。

### 2. 実験概要

#### 2-1. 実験供試体

実験に用いた供試体は図-1に示すように、幅200mm、桁高1050mm(有効高さ950mm)、支間6300mm、せん断スパン比3のせん断破壊するように設計した供試体

である。鋼材はJIS規格品のPCより線を使用し、上段3本、下段8本を配置した。鋼材諸元を表-1に示す。PC鋼より線1本あたりの初期緊張力は180kNとし、全緊張力を1980(11×180)kNを目標とした。製作したPC桁は各配合で1体とし、全4体製作した。

表-1 使用鋼材

鋼材の種類	規格	引張強度(kN)	降伏荷重(kN)	許容引張応力度(N/mm <sup>2</sup> )		
				初期引張時	プレストレス導入直後	設計荷重時
15.2mm	SRPR7BL	261以上	222以上	1440	1295	1110

2 - 2 . 使用材料・配合・養生方法

本実験におけるコンクリートの使用材料を表- 2 に、配合を表- 3 に示す。配合は水結合材比0.15とし、基準となる配合(B-15)、低収縮化を廃瓦粗骨材(粗骨材容積の20%置換)と膨張材(単位膨張材量10kg/m<sup>3</sup>)と収縮低減剤で実施した配合(G20-EX10-R-15)、および膨張材(単位膨張材量20kg/m<sup>3</sup>)と収縮低減剤で実施した配合(EX20-R-15)と一般的な設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>とするプレテンション部材を想定した水結合材比0.35とする配合(B-35)の全4種類とした。既往の研究により自己収縮ひずみの低減効果として図- 2 に自己収縮ひずみの経時変化を示す。

養生方法としては、打設4時間後から蒸気養生を開始し、3時間かけて養生温度を20 とし、次の3時間で養生温度を45 に加熱養生した。その後5時間45 を保持し、除冷した。材齢18時間でプレストレスを導入し、工場敷地内(岩手県北上市)にて気中屋内暴露環境で約1週間置き、神奈川県小田原市の研究施設に搬送し、気中屋内暴露環境で約1年間養生した。

廃瓦粗骨材(記号G瓦)は島根県江津産を使用した(写真- 1)。カオリン粘土(SiO<sub>2</sub>:65.7%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:27.1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:2.9%, K<sub>2</sub>O:1.8%)を焼成して作製した瓦の不適合品を破砕したものである。特長としては、多孔性であることと、破砕値19.60%であり同様に多孔性である一般的な軽量粗骨材の破砕値36.8%より小さく骨材自体の強度が高いことから高強度コンクリート用骨材に適していると考えられるのである。

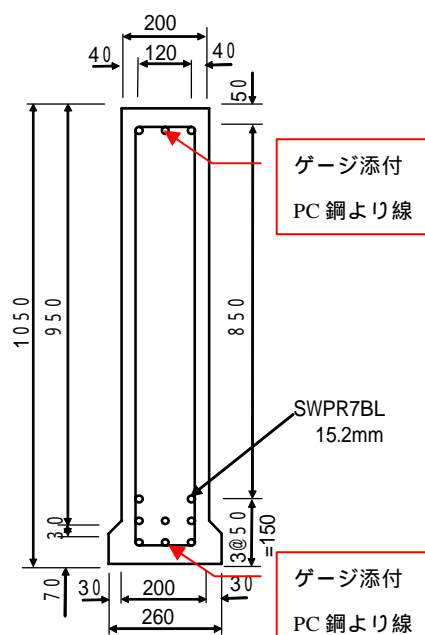
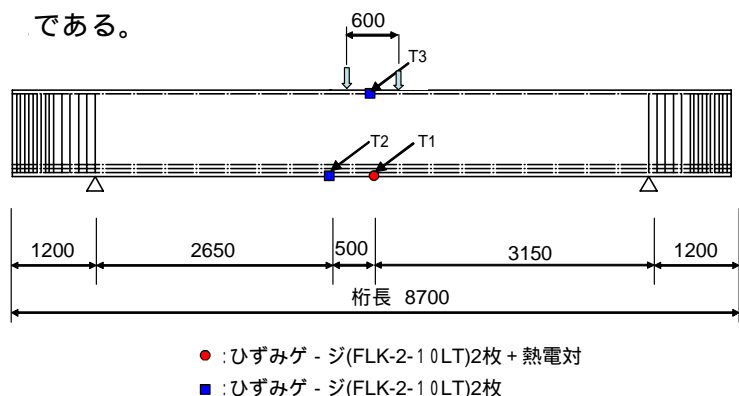


図- 1 実験供試体の形状寸法

表- 2 使用材料(コンクリート)

使用材料	種類	性質	記号
セメント	低熱ポルトランドセメント	密度 3.22g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3510cm <sup>2</sup> /g	L
	早強ポルトランドセメント	密度 3.14g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 4560cm <sup>2</sup> /g	H
L+SF	シリカフェュームと低熱セメントのプレミックス SF/(SF+L) = 0.103	密度 3.08g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 6210cm <sup>2</sup> /g	SFLC
細骨材	砂岩砕砂(山梨県大月産)	表乾密度 2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 2.41% 粗粒率 2.95, 実積率 67.8%	S
粗骨材	輝緑岩砕岩(岩手県盛岡産)	表乾密度 2.95g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.41% 粗粒率 6.57, 実積率 60.2%	G
	廃瓦粗骨材(島根県江津産)	表乾密度 2.27g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 8.88% 粗粒率 6.41, 実積率 61.3%	G瓦
混和剤	高性能減水剤	ポリカルボン酸系	SP1
			SP2
	消泡剤		D
混和材	収縮低減剤	低級アルコ-ル系	RA
	膨張材		EX
	シリカフェューム	密度 2.24g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 16.3m <sup>2</sup> /g	SF

表-3 配合

配合名	(W+SRA) / B <sup>2)</sup>	空気 量(%)	全粗骨材 容積(m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								SP/B <sup>1)</sup> (%)	D/B x100
				W	SFLC	H	EX	S	G	G 瓦	SRA		
B-15	0.15	2	0.319	155	1033	-	-	447	941	-	-	1.9	0.002
G20-EX10-R-15	0.15	2	0.319	149	1023	-	10	447	753	145	6	1.8	0.002
EX20-R-15	0.15	2	0.319	149	1013	-	20	447	941	-	6	1.9	0.002
B-35	0.35	2	0.319	155	-	443	-	872	1035	-	-	1.1	-

- 1) SP は水結合材比 0.15 の場合 SP1, 水結合材比 0.35 の場合は SP2 を使用
- 2) B は水結合材比 0.15 の場合 SFLC+EX, 水結合材比 0.35 の場合は H



写真-1 廃瓦粗骨材

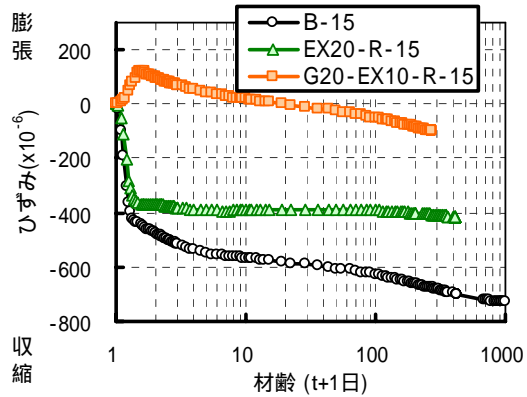


図-2 自己収縮ひずみ

2-3. 実験方法

図-3 に示す載荷装置により載荷し, PC 桁の曲げせん断挙動を実験的に検討した。載荷方法は単調載荷とし, 強度試験は各試験体の載荷試験直前に実施した。その強度特性を表-4 に示す。材料試験供試体は, 蒸気養生終了後, 気中封緘とした。

計測は, 曲げひび割れ幅, たわみ, せん断変位, 桁端部のPC鋼材のくい込み, PC鋼材ひずみおよび桁の支間中央上面と下面のコンクリートひずみについて行い, それぞれパイ型変位計, 高感度変位計およびひずみゲージにより測定した。これらの取り付けおよび貼付位置を図-4 に示す。これは東側であり, 計測は全て支間中央を中心軸として左右対称にセットした。パイ型変位計は等曲げ区間および曲げひび割れから進展して破壊に至る斜めひび割れが発生すると予想される曲げせん断域の範囲に取り付けた。名前は中心軸位置をCENTERとして, その他は中心軸からの距離で表し, 頭文字にEもしくはW(東側もしくは西側)を付けた。

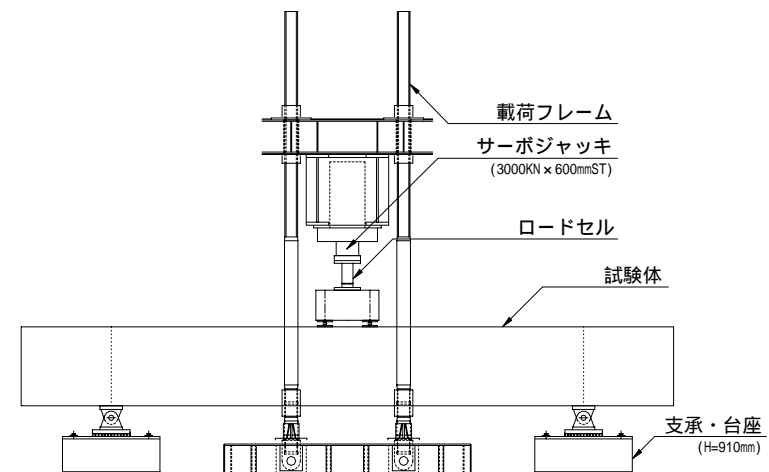


図-3 載荷装置

表-4 載荷試験時の強度特性

	B-15	G20-EX10-R-15	EX20-R-15	B-35
載荷時材齢 (日)	488	497	477	483
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	164	178	178	101
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	56700	54000	58500	48800
割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	4.75	5.41	6.41	3.92
単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	2.60	2.56	2.63	2.49

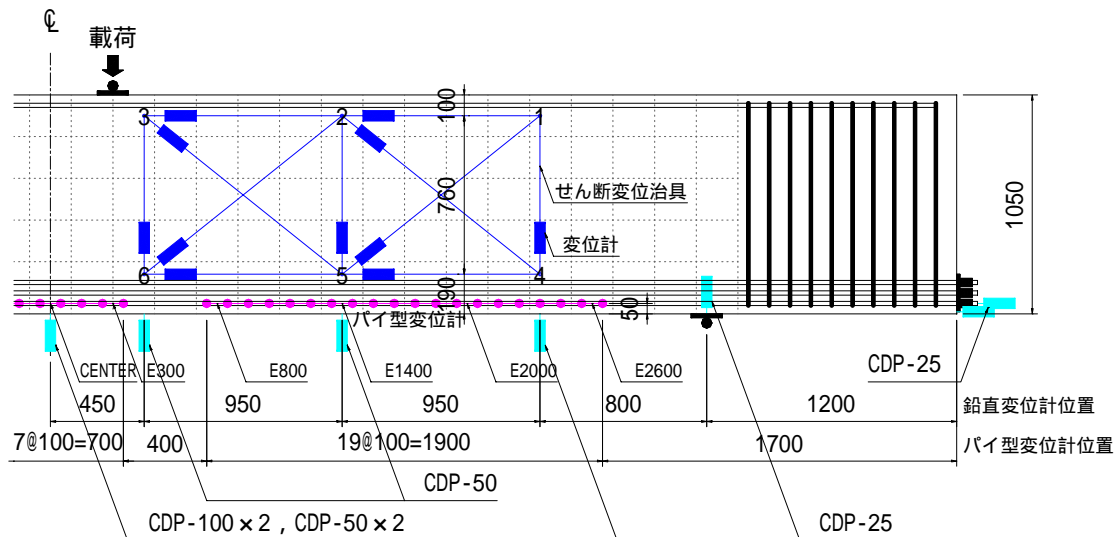


図-4 変位計・ひずみゲージの位置 (東側詳細)

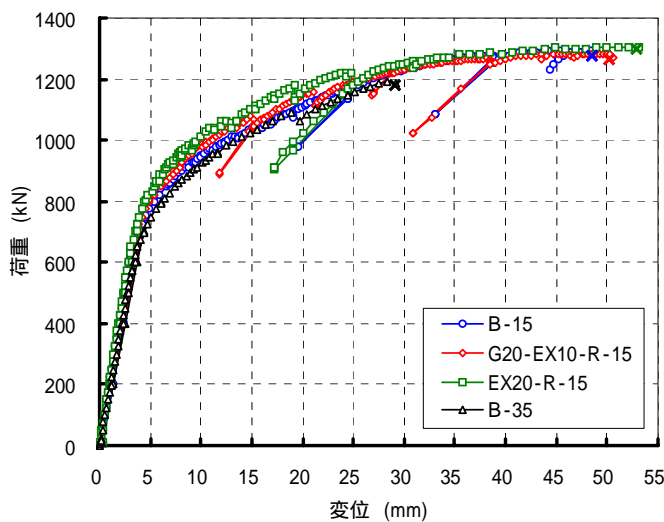


図-5 荷重 - たわみ

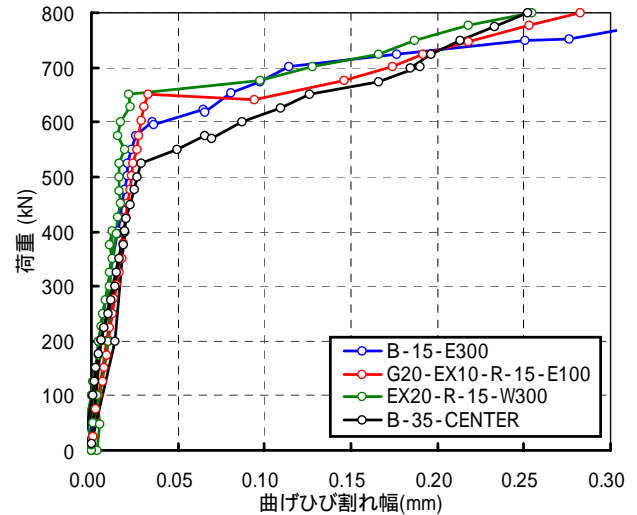


図-6 荷重 - 最大曲げひび割れ幅

表-5 載荷試験結果

実験供試体	曲げひび割れ発生		斜めひび割れ発生 <sup>1)</sup>		破壊時 (最大荷重時)	
	荷重 (kN)	たわみ (mm)	荷重 (kN)	たわみ (mm)	荷重 (kN)	たわみ (mm)
B-15	576	2.8	990	12.0	1297	48.4
G20-EX10-R-15	652	3.2	1040	12.7	1285	50.6
EX20-R-15	652	3.1	1060	13.4	1310	54.2
B-35	526	2.5	996	13.2	1200	30.7

1) 斜めひび割れ発生の判断は、せん断変位およびせん断ひび割れ幅が急増する点を斜めひび割れ発生とした。

### 3. 実験結果

#### 3-1. PC桁の荷重-たわみ関係, ひび割れ発生荷重

各PC桁の終局までの載荷荷重と支間中央たわみの関係を図-5に、載荷荷重と最大曲げひび割れ幅との関係を図-6に、載荷試験結果一覧を表-5にそれぞれ示す。なお、ここでは等曲げ区間に設置したパイ型変位計による実測最大変位量を最大曲げひび割れ幅とした。

水結合材比0.15の供試体は、B-35と比較して、曲げひび割れ発生荷重が大きく、終局時のたわみも大きい。しかし、水結合材比0.15の3体の結果を比較すると終局時のたわみはほぼ等しい。

また、収縮ひずみの低減をしたG20-EX10-R-15とEX20-R-15の曲げひび割れ発生荷重は、収縮ひずみの低減をしないB-15と比較して大きくなる結果となった。これは、収縮ひずみを低減することにより、

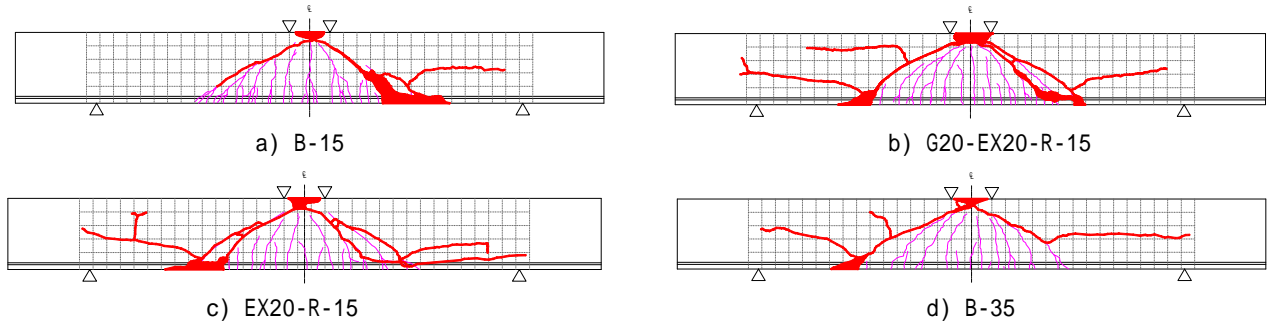
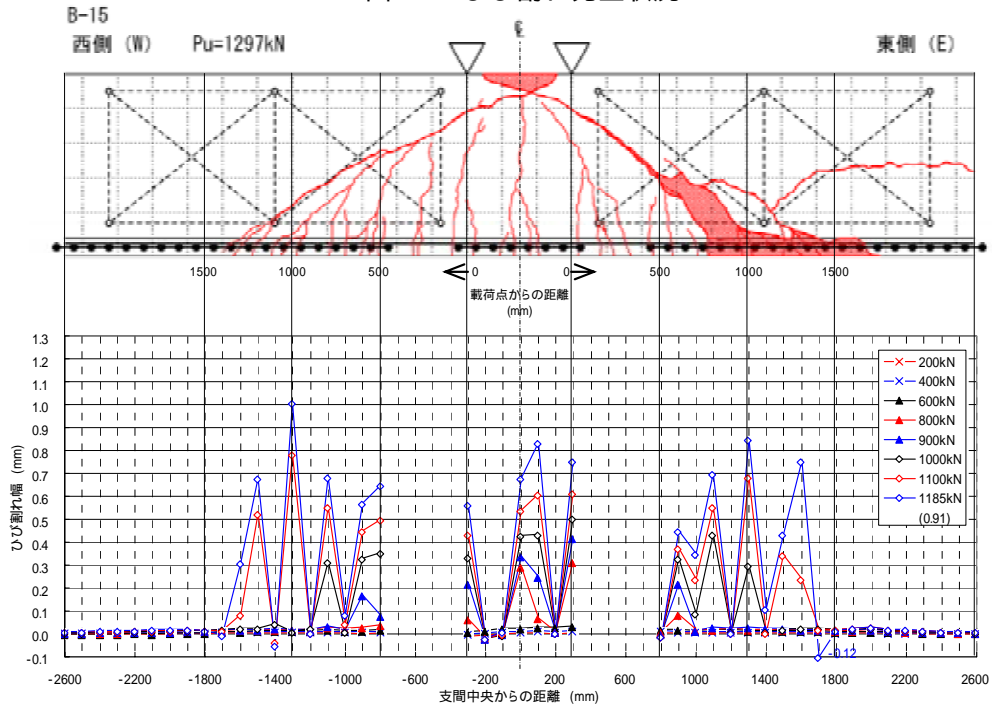
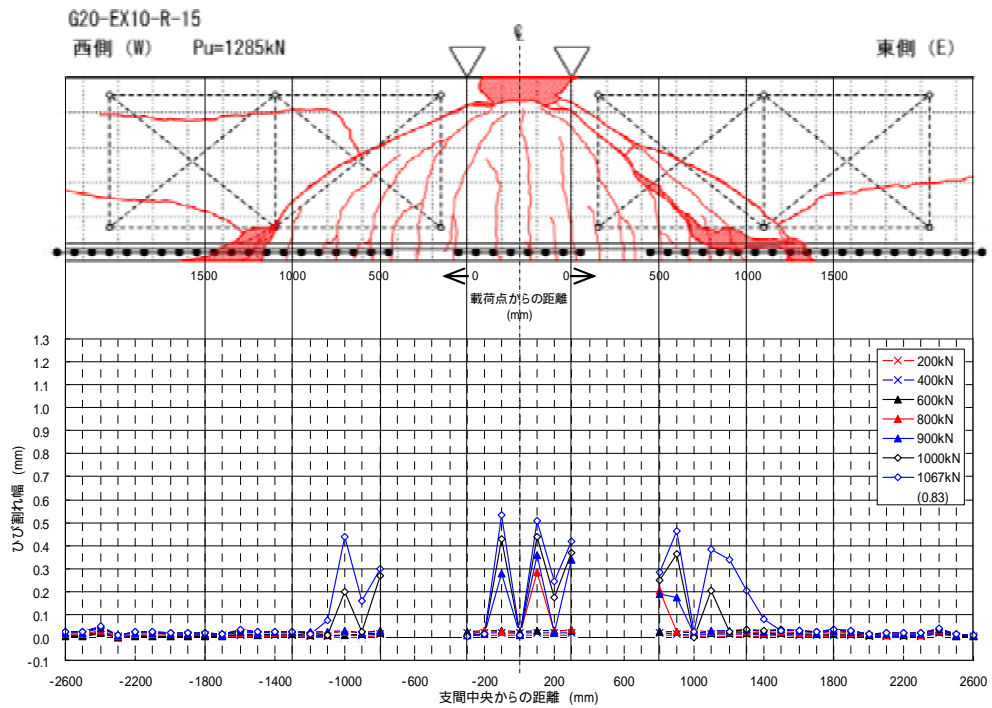


図-7 ひび割れ発生状況



a) B-15



b) G20-EX20-R-15

図-8 曲げひび割れ幅とひび割れ発生との関係

PC鋼材の緊張力のロスを抑制することができたからと言える。G20-EX10-R-15とEX20-R-15の斜めひび割れ発生荷重は他と比べて若干大きいですが、その程度は小さい。高強度化されるとRC桁のせん断ひび割れ強度が低下することが指摘<sup>1)</sup>されているが、PC桁の場合はこれと異なる結果であった。

### 3-2. ひび割れ状況、ひび割れ幅

各PC桁の破壊後のひび割れの発生状況を図-7に示す。これによると収縮の有無、コンクリート強度の差異に関わらず、ひび割れ性状に目立った相違は認められない。いずれのPC桁も斜めひび割れが等曲げ区間に進展し、斜めひび割れ部のかぶりコンクリートの剥落とともに、急激なせん断曲げ圧縮破壊を生じた。図-8に、パイ型変位計で測定した曲げひび割れ幅と関係付けたひび割れの詳細の一例(B-15, G20-EX10-R-15)を図-8に示す。載荷点から1000mm程度離れた位置であっても、モーメントシフトにより荷重の増大とともに曲げひび割れ幅は増加し、等曲げ区間のそれと同程度であることが認められる。また、このひび割れ幅の測定からわかるように、等曲げ区間を除くひび割れはせん断域の載荷点から1500mm以内の範囲に生じ、それらから進展した斜めひび割れもプレストレスの影響により水平方向に傾斜しようとするため、せん断破壊することなく等曲げ区間に進展したと考えられる。

### 4. まとめ

- (1) 収縮ひずみの低減をした部材の曲げひび割れ発生荷重は、収縮ひずみの低減をしない部材と比較して大きくなる結果となった。このことから、収縮ひずみを低減することにより、PC鋼材の緊張力は、緊張時からのロスを抑制することができることが明らかになった。
- (2) 水結合材比15%のPC部材の斜めひび割れ発生荷重と破壊荷重は、収縮ひずみの低減の有無にかかわらずほぼ等しくなる結果を得た。廃瓦粗骨材を入れたことによる耐力低下は認められない結果を得た。
- (3) 斜めひび割れ発生荷重は低収縮にすることによりわずかに増加したが、その程度はわずかであった。高強度化によりRC桁のせん断ひび割れ強度が低下することが知られているが、PCの場合にはこれとは異なることが明らかになった。

### 謝辞

本研究の一部は、平成19-20年度社団法人中国建設弘済会の技術開発に関する助成金「超高強度膨張コンクリートの適用によるプレストレストコンクリート桁の長寿命化とコスト縮減」(研究代表者：佐藤良一)として実施されたものであり感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 藤田学, 佐藤良一, 松本香保里, 高木康宏: 高強度コンクリートを用いたRCはりのせん断強度と寸法効果, 土木学会論文集, V-56, pp.161-172, 2002
- 2) 田澤榮一, 宮澤伸吾, 重川幸司: 水和反応による硬化セメントペーストのマクロな体積減少, セメント・コンクリート論文集, No.45, pp.122-127, 1991
- 3) 片寄哲務, 高森直樹, 西田浩和, 寺岡勝: 高強度コンクリートの若材齢における力学特性と自己収縮挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.497-502, 2006
- 4) R. Sato, H. Kawakane: "A New Concept for the Early Age Shrinkage Effect on Diagonal Cracking Strength of Reinforced HSC Beams", Journal of Advanced Concrete Technology Vol.6, No.1, pp.45-67, 2008.2
- 5) 鈴木雅博, 丸山一平, 川畑智亮, 佐藤良一: 超高強度RCプリズムの自己応力低減に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No.1, pp.459-464, 2008