

# 論文 低収縮超高強度コンクリートを用いたプレテンション PC 部材の応力損失低減に関する検討

鈴木 雅博\*1・川畑 智亮\*2・佐藤 良一\*3

**要旨:** 超高強度コンクリートの自己収縮ひずみが大きいため、PC 部材の応力損失が大きくなる。これまで、高含水率・多孔質である廃瓦粗骨材を用いた内部養生方法は、自己収縮ひずみの低減効果に有効であることを示してきた。本研究では、PC 部材への適用化を目的とし、低収縮超高強度コンクリートを用いたプレテンション PC 部材を作製し、PC 鋼材ひずみの長期測定結果から自己収縮ひずみ低減効果が PC 部材の応力損失低減効果に及ぼす影響を検討した。その結果、応力損失はプレストレス導入時までの自己収縮の影響を大きく受けるが、その低減には内部養生法が最も有効であることなどが明らかになった。

**キーワード:** 超高強度コンクリート, 自己収縮, 廃瓦粗骨材, プレストレス

## 1. はじめに

コンクリート構造物の長寿命化が求められている。超高強度コンクリート(以下、UHSCと示す)は、高強度化により組織が緻密になるため<sup>1)</sup>、高耐久性となり、コンクリート構造物の長寿命化技術につながり、社会的要請に対する1つの方策になると考えられる。近年の技術進歩により、圧縮強度150N/mm<sup>2</sup>クラスの構造物の構築も可能となってきている<sup>2)</sup>。一方で、UHSCは自己収縮ひずみが大きくなることが知られており<sup>3)</sup>、UHSCを用いたRC部材のひび割れの報告<sup>4)</sup>や、せん断ひび割れ発生荷重を低下させるとの報告<sup>5)</sup>がなされている。

自己収縮ひずみを低減する方法には、高含水率の軽量骨材から水分を補給する自己乾燥防止方法(以下、内部養生法と示す)<sup>6)</sup>や膨張材による化学的な膨張ひずみを付与する方法<sup>7)</sup>や収縮低減剤による表面張力の低下を制御する方法<sup>7)</sup>が提案されている。しかし、軽量骨材を用いた場合には、自己収縮ひずみの低減効果があるものの圧縮強度が頭打ちすることが報告<sup>8)</sup>されている。また、水結合材比が20%より低いコンクリートに膨張材を使用する場合には、未反応の膨張材が残存し、長期にわたって反応する可能性を指摘する報告<sup>9)</sup>もある。こうした背景から、筆者らは内部養生で使用材料として、吸水率が高く、かつ、軽量粗骨材より破砕値の小さい多孔質である廃瓦粗骨材を用いた自己応力に関する実験的検討を行い、材齢約1日まで圧縮応力が発生し、自己応力が低減することを実験的に示し<sup>10)</sup>、さらに廃瓦粗骨材、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>11)</sup>を明らかにしてきた。

低収縮かつ低クリープのUHSCをPC部材に適用した

場合には、PC部材の応力損失を低減し、桁高低減および桁高低減による下部工への負担低減などの利点が考えられる。しかしながら、低収縮超高強度コンクリートは、実規模のPC部材に関する有効プレストレスなどが明確になっていない。本論文は、PC部材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低収縮超高強度コンクリートを用いたプレテンションPC部材を作製し、PC鋼材ひずみの低減量から応力低減量を把握するとともにStep by step法<sup>12)</sup>によるクリープ解析を行い、実験値と解析値との比較検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

表-1に本実験における使用材料を示す。セメントには、水結合材比15%のUHSCには低熱ポルトランドセメント(C<sub>3</sub>S:30.2%,C<sub>2</sub>S:49.2%,C<sub>3</sub>A:4%,C<sub>4</sub>AF:9.2%)(記号L)を、水結合材比35%のコンクリートには早強ポルトランドセメント(C<sub>3</sub>S:65%,C<sub>2</sub>S:10%,C<sub>3</sub>A:9%,C<sub>4</sub>AF:9%)(記号H)を使用した。混和材には、シリカフェーム(記号SF)、標準使用量20kg/m<sup>3</sup>の石灰エトリンナイト複合系低添加型膨張材(記号EX)を使用した。なお、セメント種類Lと混和材SFを混合する配合では、Lの質量の10.3%をSFに置換したプレミックス材(記号SFLC、密度3.08g/cm<sup>3</sup>、比表面積6210cm<sup>2</sup>/g)を使用した。収縮低減剤(記号SRA)には、低級アルコール系を使用した。廃瓦粗骨材(記号GK)は島根県江津産を使用した。GKはカオリン粘土(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。

PC鋼材は直径15.2mmの規格SWPR7BLを使用した。

\*1 (株)ピーエス三菱 技術本部技術研究所材料グループ グループリーダー 博(工) (正会員)

\*2 (株)ピーエス三菱 技術本部技術研究所材料グループ 修(工)

\*3 広島大学大学院 工学研究科社会環境システム専攻 教授 工博(正会員)

表-1 使用材料

使用材料	種類	性質	記号
セメント	低熱セメント	密度 3.22g/cm <sup>3</sup> ,比表面積 3510cm <sup>2</sup> /g	L
	早強セメント	密度 3.14g/cm <sup>3</sup> ,比表面積 4560cm <sup>2</sup> /g	H
細骨材	砕砂	表乾密度 2.62g/cm <sup>3</sup> ,吸水率 2.41%, 粗粒率 3.21,実積率 67.8%	S
粗骨材	碎石	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%, 破砕値 7.86%	G
	廃瓦粗骨材	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%, 破砕値 19.60%, 骨材粒径 15-5mm	GK
混和材	シリカフューム	密度 2.24g/cm <sup>3</sup> ,比表面積 16.3m <sup>2</sup> /g	SF
	膨張材	密度 3.05g/cm <sup>3</sup>	EX

表-2 配合表

配合名	(W+SRA) /SFLC or H	空気 量(%)	全粗骨材 容積(m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								SP <sup>1)</sup> /(SFLC +EX) or H	D <sup>2)</sup> /(SFLC +EX) or H
				W	SFLC	H	EX	S	G	GK	SRA		
B-15	0.15	2	0.319	155	1033	-	-	447	941	-	-	0.019	0.00002
G20-EX10-R-15	0.15	2	0.319	149	1023	-	10	447	753	145	6	0.018	0.00002
EX20-R-15	0.15	2	0.319	149	1013	-	20	447	941	-	6	0.019	0.00002
B-35	0.35	2	0.319	155	-	443	-	872	1035	-	-	0.011	-

1)SP:高性能 AE 減水剤, 2)D:消泡剤,

## 2.2 配合

表-2 に配合を示す。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。単位水量と空気量は全配合ともに 155kg/m<sup>3</sup>および 2%とした。使用した廃瓦粗骨材は、3 日間吸水させ、105°Cの炉で 24 時間乾燥して求めた含水率が吸水率以上となる状態とした。打設直前に試験により求めた含水率と吸水率から算出した表面水は単位水量に含むこととした。配合 G20-EX10-R-15 の単位粗骨材容積は、配合 B-15 と同じとし、全粗骨材容積の 20Vol.%を単位廃瓦粗骨材で置換した。なお、廃瓦粗骨材の置換量は事前に実施した基礎試験から置換率を大きくした場合に長期的に収縮ひずみが大きくなること<sup>10)</sup>、廃瓦粗骨材と膨張材および収縮低減剤を混入した配合における一軸拘束試験において応力を概ね 0 とできた結果<sup>11)</sup>から決定した。膨張材は単位結合材料に含めた。収縮低減剤量は 6kg/m<sup>3</sup>とした。

コンクリートの練混ぜは、容量 2.25m<sup>3</sup>の 2 軸強制練りミキサを用い、1 バッチあたり 1.1m<sup>3</sup>とした。練混ぜ方法は、水結合材比 0.15 では空練り 15 秒、モルタル 240 秒、コンクリート 60 秒とし、水結合材比 0.35 では、空練り 15 秒、モルタル 90 秒、コンクリート 60 秒とした。

## 2.3 PC 部材および養生条件

図-1 に試験体断面および PC 鋼材位置を示す。PC 鋼材は、上縁側 3 本、下縁側 8 本を配置した。部材寸法は、幅 200mm、桁高 1050mm(有効高さ 956.25mm)、長さ

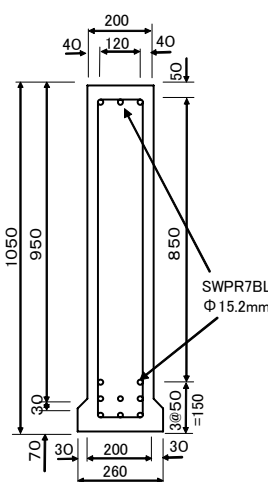


図-1 PC 部材断面

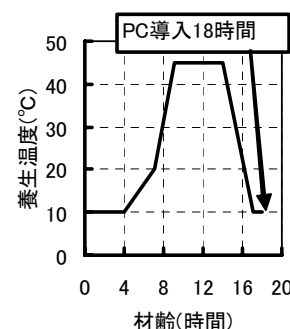


図-2 加熱養生条件

8700mmである。PC 部材は各配合で 1 体作製した。本研究では、実構造物への適用化を目的としていることから、実構造物での生じる現象を把握するため、型枠とコンクリートとの付着をきることによる収縮変形の拘束を抑制する方策をとらずに直接コンクリートを打設した。PC 鋼材 1 本あたりの初期緊張力は 180kN とし、全緊張力を 1980(11×180)kN とした。図-2 に蒸気養生による加熱養生の設定温度を示す。PC 部材は脱枠後にプレストレスを導入し、屋内気中暴露した。圧縮強度用のテストピースの養生は PC 部材と同じとした。

## 2.4 試験方法

### (1) PC 部材のひずみ

PC 鋼材ひずみの測定位置は、桁長の 1/2 における最下段と最上段とした。PC 鋼材ひずみは、PC 鋼材緊張時に測定した「荷重-ひずみ」から、PC 鋼材の弾性係数が 200kN/mm<sup>2</sup>となるように校正係数を算出し、測定値を補正した。

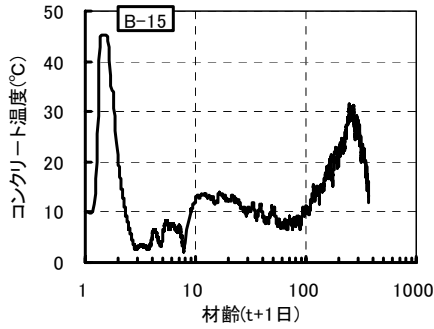


図-3 コンクリート温度履歴(B-15)

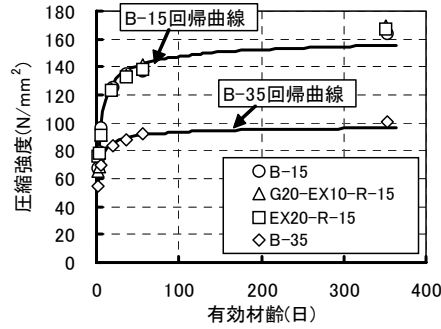


図-4 圧縮強度発現

表-3 圧縮強度の回帰係数

	A	B
B-15	134	0.21
G20-EX10-R-15	133	0.28
EX20-R-15	133	0.22
B-35	87.8	0.13

$$\sigma_c(t) = A \cdot \exp\left[B \cdot \left\{1 - (28/t)^{0.5}\right\}\right]$$

### (2) 20°C自己収縮ひずみ

自己収縮ひずみ試験の養生条件は、温度 20°Cの室内にて打設し、材齢 1 日で脱枠を行い、温度 20°C、湿度 60%の室内にて封緘養生した。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 PC 鋼材測定位置におけるコンクリート温度履歴

図-3 に一例として配合 B-15 のコンクリート打ち込みからのコンクリート温度履歴を示す。これより、他の供試体も含め、PC 部材の有効材齢を算出した。

### 3.2 圧縮強度およびヤング係数

図-4 に各配合の圧縮強度発現を示す。式(1)に圧縮強度発現の回帰曲線を示す。図には配合 B-15 と B-35 の回帰曲線を示す。表-3 に回帰結果を示す。

$$\sigma_c(t) = A \cdot \exp\left[B \cdot \left\{1 - (28/t)^{0.5}\right\}\right] \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_c(t)$  は有効材齢  $t$  日での圧縮強度、 $A, B$  は回帰係数を示す。

水結合比 15%の圧縮強度は有効材齢約 365 日において、 $160\text{N/mm}^2$  を超える結果を示し、廃瓦粗骨材および膨張材を添加による圧縮強度の低減は認められなかった。

図-5 に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。圧縮強度とヤング係数の関係は概ね 1 つの回帰曲線で示すことができる。これは、本研究においては、単位粗骨材容積と使用骨材を固定したためと考えられる。式(2)に有効材齢  $t$  日の圧縮強度とヤング係数  $E_c(t)$  の回帰式を示す。

$$E_c(t) = 6.82\sigma_c(t)^{0.41} \quad (2)$$

### 3.3 自己ひずみ

図-6 に各配合のひずみの経時変化を示す。廃瓦粗骨材を混入することにより、内部養生による収縮ひずみの低減効果が確認され、その低減効果は膨張材と収縮低減剤を混入した配合 EX20-R より収縮低減効果が高くなる結果を示した。廃瓦粗骨材を用いた配合のひずみ発現は、材齢 1.5 日まで膨張ひずみが発生し、その後収縮側に転じる結果となり、膨張材と収縮低減剤を用いた配合 EX20-R-15 のひずみ発現とは明らかに異なる性状を示し

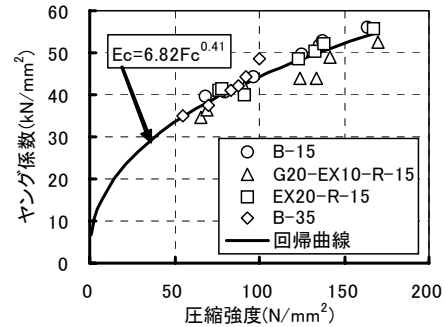


図-5 圧縮強度とヤング係数との関係

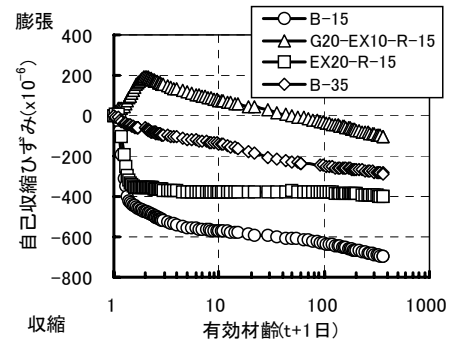


図-6 自己収縮ひずみ発現(20°C一定室内試験)

た。この膨張ひずみの発生は、吸水率以上に含水した軽骨材を用いたコンクリートにおいても散見<sup>6)</sup>されており、傾向的には整合している。筆者らは、自己収縮ひずみ発現はコンクリートの温度履歴の影響を受けることを示してきた<sup>13)</sup>。このことから、解析で用いた自己収縮ひずみ発現は、PC 部材のコンクリート温度履歴とは異なるが、同一配合で練上がり温度とコンクリートの最高温度が PC 部材に比較的近い筆者らの既報<sup>13)</sup>の結果を用いることとした。自己収縮ひずみ発現とコンクリートの温度履歴を図-7 に示す。ただし、配合 G20-EX10-R-15 は実施していないため、配合 B-15 と EX20-R-15 の 20°C 一定とコンクリート温度履歴による低減量の比率(約 1.4 倍)を用い、配合 G20-EX10-R-15 の温度履歴を推定することとした。なお、配合 B-35 に関しては自己収縮ひずみの発生量が小さいと考えられたことから温度履歴の影響を考慮せずに解析を行った。

### 3.4 クリープ係数

クリープ関数は修正 MC90 法<sup>14)</sup>を用いて評価した。本研究における解析で用いたクリープ関数は、既報の文献<sup>12),15)</sup>を参考に定めた。クリープ関数を式(3)に示す。 $\phi_0$ と $\beta_H$ は載荷時有効材齢のヤング係数( $E_c(t_0)$ )と有効材齢28日のヤング係数( $E_{c,28}$ )の比とする関数で示される。

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \left( \frac{(t - t_0)/t_1}{\beta_H + (t - t_0)/t_1} \right)^{0.3} \quad (3)$$

ここで、 $\phi(t, t_0)$  : クリープ係数、 $\phi_0$  : クリープ係数の終局値、 $\beta_H$  : クリープ進行速度を表す係数、 $t$  : 有効材齢(日)、 $t_1$  : 1日、 $t_0$  : 載荷時有効材齢(日)を示す。

図-9に $\phi_0 - E_c(t_j)/E_{c,28}$ と $\beta_H - E_c(t_j)/E_{c,28}$ の関係を示す。図中の実線は水結合材比0.15を、点線は水結合材比0.30を示す。ここで、 $\phi_0$ は水結合材比によらずほぼ一致しているが、 $\beta_H$ は異なる。このことから、水結合材比0.35の $\beta_H$ は、水結合材比0.30とは異なると考えられるが、圧縮強度が近いことから点線の関数を用いることとした。図より、 $\phi_0$ と $\beta_H$ が式(4)と(5)となる。

$$\phi_0 = 0.15 + 5.2 \exp(-2.0(E_c(t_0)/E_{c,28})) \quad (4)$$

$$\begin{cases} 0 < E_c(t_0)/E_{c,28} < 0.270 \\ \beta_H = 0.000001 \\ 0.270 < E_c(t_0)/E_{c,28} \\ \beta_H = 49.4(E_c(t_0)/E_{c,28}) - 13.2 \end{cases} \quad \text{--W/B=0.15} \quad (5)$$

$$\begin{cases} 0 < E_c(t_0)/E_{c,28} < 0.334 \\ \beta_H = 0.000001 \\ 0.334 < E_c(t_0)/E_{c,28} \\ \beta_H = 40.5(E_c(t_0)/E_{c,28}) - 13.5 \end{cases} \quad \text{--W/B=0.35}$$

### 3.5 解析方法

コンクリート応力解析は、プレストレス導入までの収縮ひずみに起因した自己応力及びPC鋼材ひずみの変化量を勘案して行った。解析方法は、増分型 Step by step 法<sup>12)</sup>を用いた。図-9に Step by step 法の概念図を示す。Step by step 法によるステップ*i*の応力変動は、式(6)で示される。

$$\Delta\sigma_i = E_c(t_i) \cdot \left[ (\Delta\varepsilon_c)_i - \sum_{j=1}^{i-1} \Delta\sigma_j \cdot \{\Delta\phi(t_i, t_j)\} / E_{c,28} - (\Delta\varepsilon_{sh})_i \right] \quad (6)$$

ここで、 $\Delta\sigma_j$  : step *j* のコンクリート変動応力度、 $E_c(t_i) = 1/j(t_{i+1/2}, t_i)$ 、 $j(t_{i+1/2}, t_i) = 1/E_c(t_i) + \phi(t_i, t_i)/E_{c,28}$ 、 $(\Delta\varepsilon_c)_i$  : 時間ステップ *i-1* から *i* のコンクリートの全ひずみ変化量、 $(\Delta\varepsilon_{sh})_i$  : 自由ひずみ変化量を示す。

ここで、 $(\Delta\varepsilon_c)_i$  は PC 鋼材位置においては PC 鋼材ひ

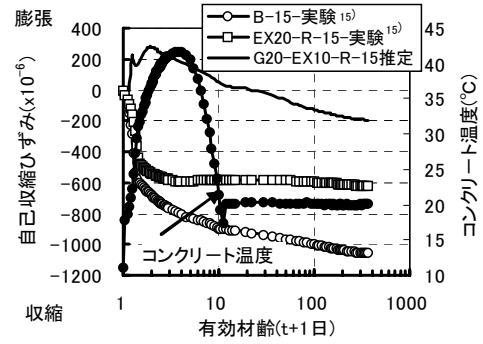


図-7 温度履歴を考慮した自己収縮ひずみ発現

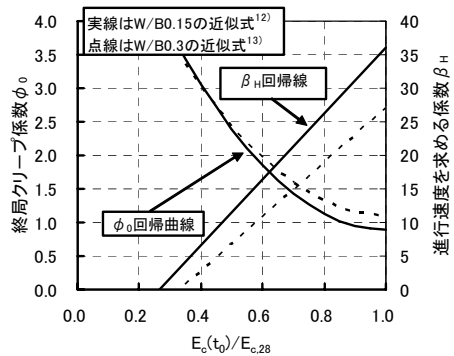


図-8  $E_c(t_0)/E_{c,28}$  と  $\phi_0$  および  $\beta_H$  の関係

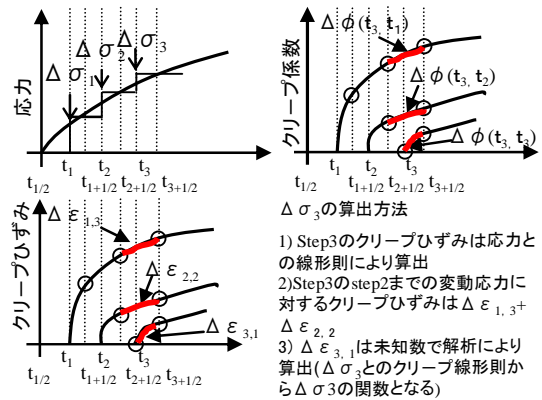


図-9 Step by step 法の概念図

ずみ変化量と同じとなる。このことから、式(6)のコンクリート変動応力度は、PC鋼材のひずみ、クリープひずみおよび自由ひずみの変化量で示される。一方、PC鋼材の変動応力度に対するコンクリート応力の増分量は弾性解析により算出される。このことから、式(6)は全てPC鋼材の変動応力度を未知数として示される。具体的には、PC鋼材位置を上縁側と下縁側の2段とした場合のSTEP *i* におけるPC鋼材の変動応力度は、式(7)となる。

$$-\begin{bmatrix} C_{c1} & C_{te1} \\ C_{ct1} & C_{t1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\sigma_{sc} \\ \Delta\sigma_{st} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_c(t_i) \{ \Delta\sigma_{sc} / E_s - \varepsilon_{ccr,i-1} - (\Delta\varepsilon_{sh})_i \} \\ E_c(t_i) \{ \Delta\sigma_{st} / E_s - \varepsilon_{ctcr,i-1} - (\Delta\varepsilon_{sh})_i \} \end{bmatrix} \quad (7)$$

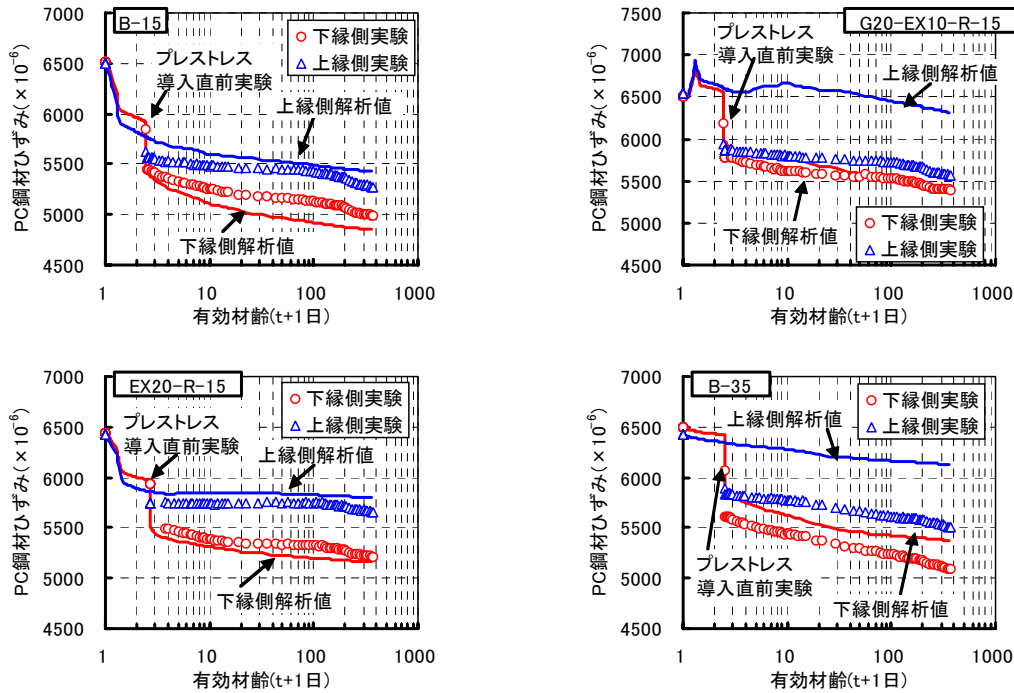


図-10 PC 鋼材ひずみの実験値と解析値の比較

ここで、 $\varepsilon_{ccr,i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} (\Delta\sigma_{cc,j}) \cdot \{\Delta\phi(t_i, t_j)\} / E_{c28}$ 、 $\varepsilon_{ctcr,i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} (\Delta\sigma_{ct,j}) \cdot \{\Delta\phi(t_i, t_j)\} / E_{c28}$ 、STEP  $j$  におけるコンクリートの変動応力度  $\Delta\sigma_{cc,j}$  (上縁)、 $\Delta\sigma_{ct,j}$  (下縁)、 $C_{c1}$ 、 $C_{te1}$ 、 $C_{ce1}$ 、 $C_{e1}$  は PC 鋼材位置、PC 鋼材面積 ( $A_p$ )、コンクリート面積 ( $A_c$ )、コンクリート断面 2 次モーメント ( $I_c$ ) から定まる PC 鋼材の増分量 ( $\Delta\sigma_s$ ) からコンクリート応力増分量 ( $\Delta\sigma_{ci}$ ) を弾性解析する各係数を示す。なお、各係数は PC 鋼材増分応力からコンクリート応力を算出する式(8)から算出できることから詳細は省略する。

$$\Delta\sigma_{ci} = \Delta\sigma_s A_p / A_c + \Delta\sigma_s A_p \cdot e \cdot y / I_c \quad (8)$$

ここで、 $e$  は図心位置から PC 鋼材位置の距離、 $y$  は応力を算出する図心位置からの距離を示す。

なお、プレストレス導入によるコンクリート応力変化量は導入での STEP での PC 鋼材応力から弾性解析により別途算出し、変動応力に加算することとした。

### 3.6 PC 鋼材ひずみ

図-10 に PC 部材のひずみの実験値と解析値を示す。配合 B-15、G20-EX10-R-15 および EX20-R-15 の有効材齢 365 日の下縁側 PC 鋼材ひずみの実験値は、それぞれ 4985、5395、5219x10<sup>-6</sup> となり、配合 G20-EX10-R が最も PC 鋼材ひずみの低減量が小さくなる結果となった。本研究の範囲内では、全ての PC 部材において、プレストレス導入直前の PC 鋼材ひずみの低減が認められ、PC 部材の応力算定には導入までの PC 鋼材応力の変動を考慮するこ

との必要性が認められた。配合 B-15 プレストレス導入時までの解析結果は概ね一致したが、導入時以降は若干の差が生じた。配合 EX20-R-15 は計測終了時まで概ね一致する傾向を示した。配合 G20-EX10-R-15 に関しては、プレストレス導入時までの解析値と実験値が一致しない結果となった。配合 G20-EX10-R-15 の自己収縮ひずみの温度依存性を配合 EX20-R-15 で推定したが、内部養生法の温度依存性と異なることが考えられ、さらに検討を進めていく必要があると考える。配合 B-35 のプレストレス導入時までの PC 鋼材ひずみ減少量は収縮ひずみが小さいにも拘わらず大きくなる結果を示した。この理由は不明であり、収縮特性やクリープ特性の観点からさらに検討する必要があると考える。

### 3.7 PC 部材下縁のプレストレス

表-4 にプレストレス導入直前までの自己収縮ひずみの考慮の有無による PC 部材のコンクリート下縁応力を示す。下縁応力は PC 鋼材ひずみの実験値から算出した。プレストレス導入直前までの自己収縮ひずみを無視したコンクリート下縁応力は、コンクリート打込み直後の PC 鋼材ひずみ測定値が導入直前まで一定と仮定し、その値に導入直前から生じた PC 鋼材ひずみの変化量を加算した PC 鋼材ひずみを用いて算出した。プレストレス導入までの収縮ひずみを考慮した場合には、自己応力と導入直前までの PC 鋼材応力の減少の 2 要因を勘案して算出した。有効プレストレスの算出は、これまでプレストレス導入後のクリープ・収縮ひずみの影響を考慮してきたが、UHSC はプレストレスロスに占める導入まで

表-4 PC鋼材ひずみ実験値から算出したコンクリート下縁応力

	B-15		G20-EX10-R-15		EX20-R-15	
	収縮考慮	収縮無視	収縮考慮	収縮無視	収縮考慮	収縮無視
プレストレス導入直前までの自己応力①	1.75	0.00	0.80	0.00	1.31	0.00
プレストレス導入直前までのPC鋼材ひずみ減少量により生じた下縁応力減少量②	1.57	0.00	0.72	0.00	1.17	0.00
プレストレス導入直後の応力	-13.1	-16.4	-15.0	-16.5	-13.8	-16.3
プレストレス導入直後からの応力変化量③	1.34	1.34	1.23	1.23	1.01	1.01
計測終了時点の応力	-11.8	-15.1	-13.8	-15.3	-12.8	-15.0
(①+②)/(①+②+③)	0.71	-	0.55	-	0.71	-

注) +は引張応力を示す。

(UNIT:N/mm<sup>2</sup>)

の影響は無視できないと考えられる。配合G20-EX10-R-15は、他の配合と比較して収縮ひずみに起因したプレストレスロスを最も抑制する結果を示した。

#### 4. まとめ

低収縮超高強度コンクリートを用いたプレテンションPC部材を作製し、PC鋼材ひずみの低減量を把握することにより、自己収縮ひずみの低減がプレストレスに与える影響を検討し、以下のことが明らかになった。

- (1) 超高強度コンクリートをプレテンション部材に適用する場合の有効プレストレスにはプレストレス導入までの自己収縮ひずみによる自己応力とPC鋼材ひずみの減少量を考慮する必要がある。
- (2) 廃瓦粗骨材を混入したPC部材のPC鋼材ひずみの減少が最も小さく、PC部材応力のクリープ・自己収縮ひずみによる減少を抑制する効果が認められた。
- (3) 膨張材と収縮低減剤を混入した配合のPC部材の解析結果は、自己収縮ひずみの温度依存性を考慮した材料特性を用いることにより概ね一致した。

#### 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) 五十嵐心一ほか：若材齢における高強度コンクリートの内部組織の特徴と自己収縮拘束特性，土木学会論文集，No.704，V-55，pp.173-186，2002.5
- 2) 陣内 浩ほか：設計基準強度 150N/mm<sup>2</sup>クラスの高強度コンクリートによる実大RC柱の施工性と構造物強度発現性状の検討，日本建築学会技術報告集，No.17，pp.1-5，2003.6
- 3) 田澤榮一ほか：コンクリートの自己収縮，コンクリート工学年次論文集，Vol.14，No.1，pp.561-566，1992.5

- 4) 片寄哲務ほか：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.497-502，2006.7
- 5) Ryoichi sato and Hazime 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, Feb. 2008
- 6) 五十嵐心一ほか：軽量骨材の使用による高強度コンクリートの自己収縮の低減効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.399-404，2002.6
- 7) 谷村充ほか：膨張材を用いた高強度コンクリートの自己膨張・収縮特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.951-956，2002.6
- 8) 日紫喜剛啓ほか：自己収縮を低減した 150N/mm<sup>2</sup>級超高強度コンクリートに関する実験的検討，土木学会論文集，No.781，V-66，pp.101-112，2005.2
- 9) 日本コンクリート協会：膨張コンクリートによる構造物の高機能化／高耐久化に関するシンポジウム，pp.40-46，2003.9
- 10) 鈴木雅博ほか：廃瓦粗骨材を用いた超高強度コンクリートの変形と拘束応力に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.651-656，2007.7
- 11) 鈴木雅博ほか：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.459-461，2008.7
- 12) Ito, Hidetoshi, et al. : Early Age Deformation and Result Induced Stress in Expansive High Strength Concrete, Journal of Advanced Concrete Technologe, Vol.2, No.2, pp.155-174, June 2004
- 13) 鈴木雅博他：超高強度コンクリートを用いたRC柱の膨張材と収縮低減剤による初期応力・初期欠陥低減に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第635号，pp.1-10，2009.1
- 14) CEB-FIP Model Code 1990, Tomas Telford, 1993
- 15) 鈴木雅博ほか：超高強度膨張コンクリートの自由変形と拘束応力に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.563-568，2006.7