

## 画像相関法を用いたPCはりの耐荷機構の評価

安藤ハザマ 技術研究所 博士(学術) ○野間 康隆  
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 博士(学術) 渡辺 健  
 (公財)鉄道総合技術研究所 修士(工学) 大野 又稔

Abstract : This paper discussed the volume change caused by creep and shrinkage during the curing, and the loading test of the prestressed concrete (PC) beam. The volume change of the PC beam under constant temperature and humidity were measured. Then, the bending test of PC beam was conducted to investigate the load bearing mechanism of the PC beam. Pictures of specimen surface were captured by using three digital cameras in order to obtain the principal strain distribution. The volume changes by time and the load-bearing mechanism of PC beam were evaluated by using the digital image correlation method.

Key words : PC beam , Volume change, Load-bearing mechanism, Digital image correlation method

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下, PC)構造物に生じるクリープは過大なたわみ等, 長期的な供用性能に悪影響を及ぼすことになるため, これらの変形の発生状況の把握や予測は重要となるものと考えられる。本研究では, PCはり試験体を製作し, 養生の期間, PC鋼材による緊張力を導入したPCはり試験体に生じるひずみの経時変化を計測した。この試験では, デジタル一眼レフカメラを複数使用した画像計測を実施し, 得られた画像を解析することで, PCはり試験体表面のひずみ分布の経時変化を計測することを試みた。また, 養生終了後にPCはり試験体のせん断試験を実施して, PCはり試験体の耐荷性能に関して検討を行った。載荷試験においても複数のカメラを使用した画像計測・解析を実施し, 試験体に生じたひずみ分布から耐荷機構の考察等を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1. 試験体概要

表-1に, PCはり試験体製作時に使用したコンクリートの配合を示す。セメントには, 高炉スラグ微粉末をセメントに対する質量比として60%混入した。図-1に, 製作した試験体の概要を示す。試験体は, 150×200mm および全長 1,860mm を有する矩形断面のPCはりである。せん断スパン  $a$  は 370mm, 有効高さ  $d$  は 160mm, したがって  $a/d=2.3$  である。片側せん断スパンには, D6 (降伏強度 345N/mm<sup>2</sup>) であるスターラップを1組配置した。また, 断面積 227 mm<sup>2</sup>, 降伏強度 1215 N/mm<sup>2</sup>, 弾性係数 211.8 kN/mm<sup>2</sup> であるPC鋼棒 (丸鋼), および D19 である異形棒鋼 (降伏強度 366 N/mm<sup>2</sup>, 弾性係数 196 kN/mm<sup>2</sup>) を, 軸方向鉄筋として配置している。試験体の端部には鋼板を設置し, PC鋼材を定着した。

表-1 コンクリートの配合

W/B (%)	BS 置換率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )							
				W	C	BS	S	G1	G2	SP	AE
52	60	12±2.5	4.5±1.5	161	124	186	875	484	484	0.744	0.248

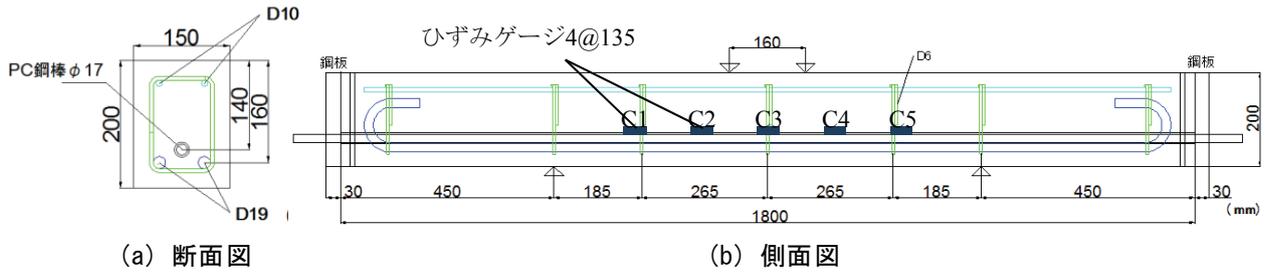


図-1 試験体の形状・寸法



(a) 材齢 15 日から材齢 29 日



(b) 材齢 32 日(載荷試験)

図-2 試験体材齢と養生・試験状況

## 2.2. 養生および載荷試験

試験体は、材齢1日後に脱型後、恒温恒湿室にて摂氏20℃、相対湿度60%の環境において試験体を材齢15日まで養生した。図-2に、試験体の材齢と養生および載荷試験の状況を示す。材齢16日において、試験体のPC鋼材に100kNの緊張力を導入することで、試験体にプレストレスを導入し、材齢29日まで、同一の環境にて養生を継続した。その後、材齢32日において、4点曲げ載荷試験を実施した。使用した載荷板は、幅100mmの鋼板である。

## 2.3. 画像相関法の概要

養生期間および載荷試験では、画像相関法を使用した画像撮影システム<sup>1)</sup>を用いて試験体表面の変位情報から、ひずみを計測した。図-2に、画像撮影システムの設置状況を示す。3台の高性能デジタルカメラ(5760×3840画素)を架台に固定し、3台の同時撮影を実施して行うものである。実験では、1台の撮影範囲は345.6×230.4mm、1画素あたり0.06mm、接点間距離4mm、撮影速度1/125秒、撮影間隔10分/枚(養生期間)、荷重10kN/枚(載荷試験)として計測を行った。そして、ひずみ計測の際は、事前にキャリブレーションを行い、レンズ収差補正を考慮している。撮影間隔ごとの画像の追跡を考慮して、試験体表面にスプレー塗料を噴霧した。

## 3. 実験結果および考察

図-3に、試験体表面においてひずみゲージを用いて計測した結果を用いて、緊張力導入時の荷重-ひずみ関係を示す。また、図-4に、材齢に伴うひずみの変化を示す。さらに、図-5~7に、緊張力導入直後、導入後7日、14日において、画像解析で算出した主ひずみの絶対値および方向について、ベクトル図で示す。なお、C1~C5は図-1のゲージ位置と一致している。また、図-5~7の赤丸は2画像の位置の整合を図る目標を示したものである。緊張力導入直後、支間中央では約600μ、それ以外の

領域では約 $200\mu$ の圧縮側ひずみが発生していたことが確認でき、同様のことがひずみベクトル図からも確認された。これは、脱型後、緊張力導入までに支間中央でひび割れが発生し、これを閉口する緊張力を導入したことで、支間中央で圧縮ひずみが卓越して増加したことが推察される。緊張力導入後～7日、14日間において断面の上部に対して下部のひずみが、圧縮側に卓越して増加していることから、試験体が上部に反り上がる現象を捉えた結果であり、断面の部位に依存して異なるひずみが可視化できている。

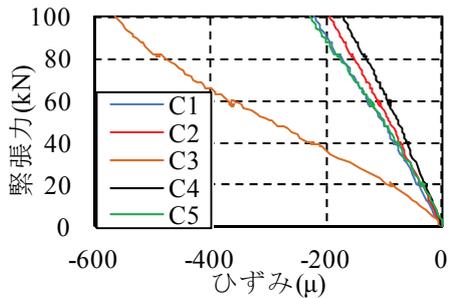


図-3 緊張力導入時の荷重-ひずみ関係

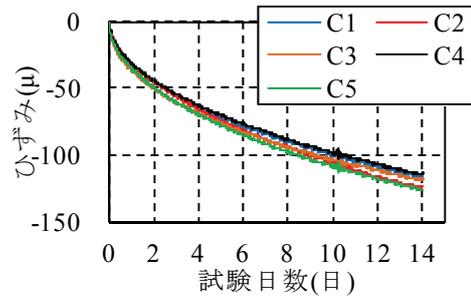


図-4 材齢に伴うひずみの変化

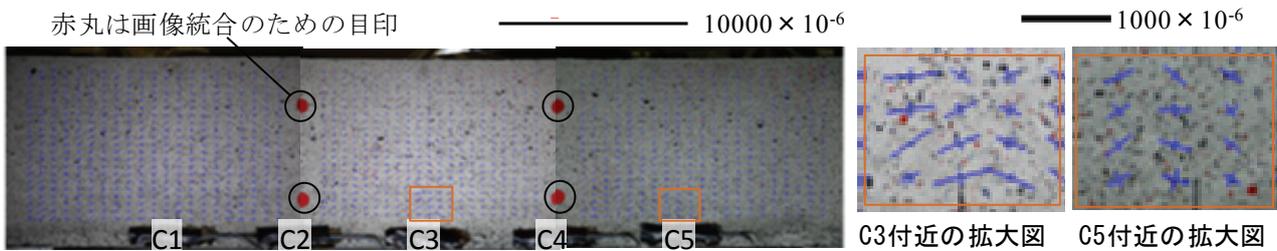


図-5 緊張前～緊張後の主ひずみ(青：圧縮，赤：引張)

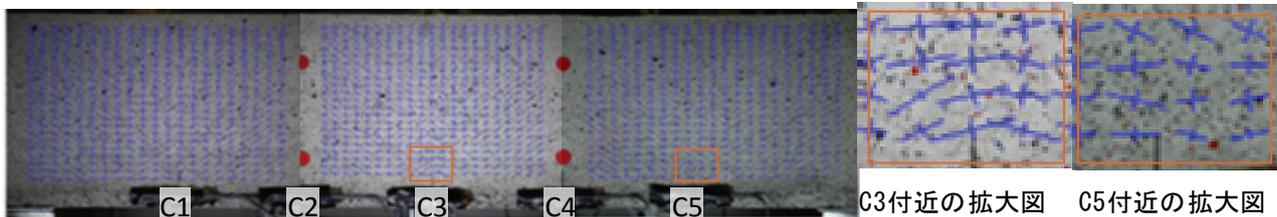


図-6 緊張前～緊張後7日目の主ひずみ(青：圧縮，赤：引張)

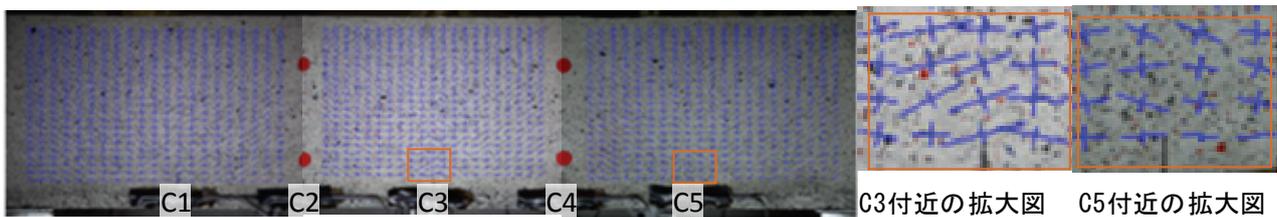


図-7 緊張前～緊張後14日目の主ひずみ(青：圧縮，赤：引張)

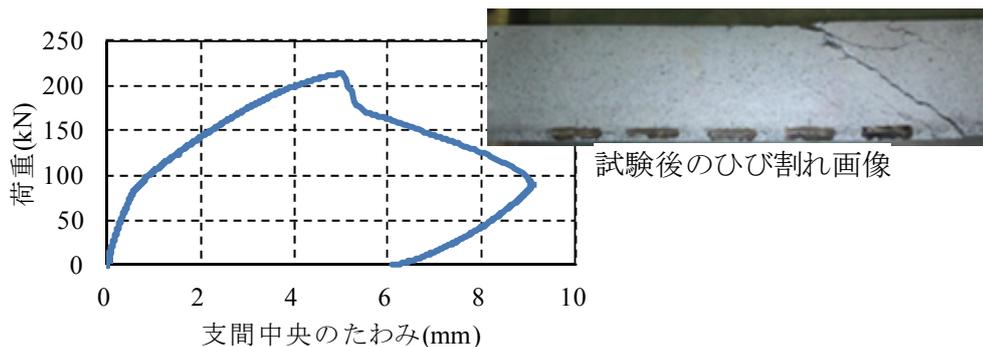


図-8 荷重-たわみ関係および試験終了後のひび割れ状況

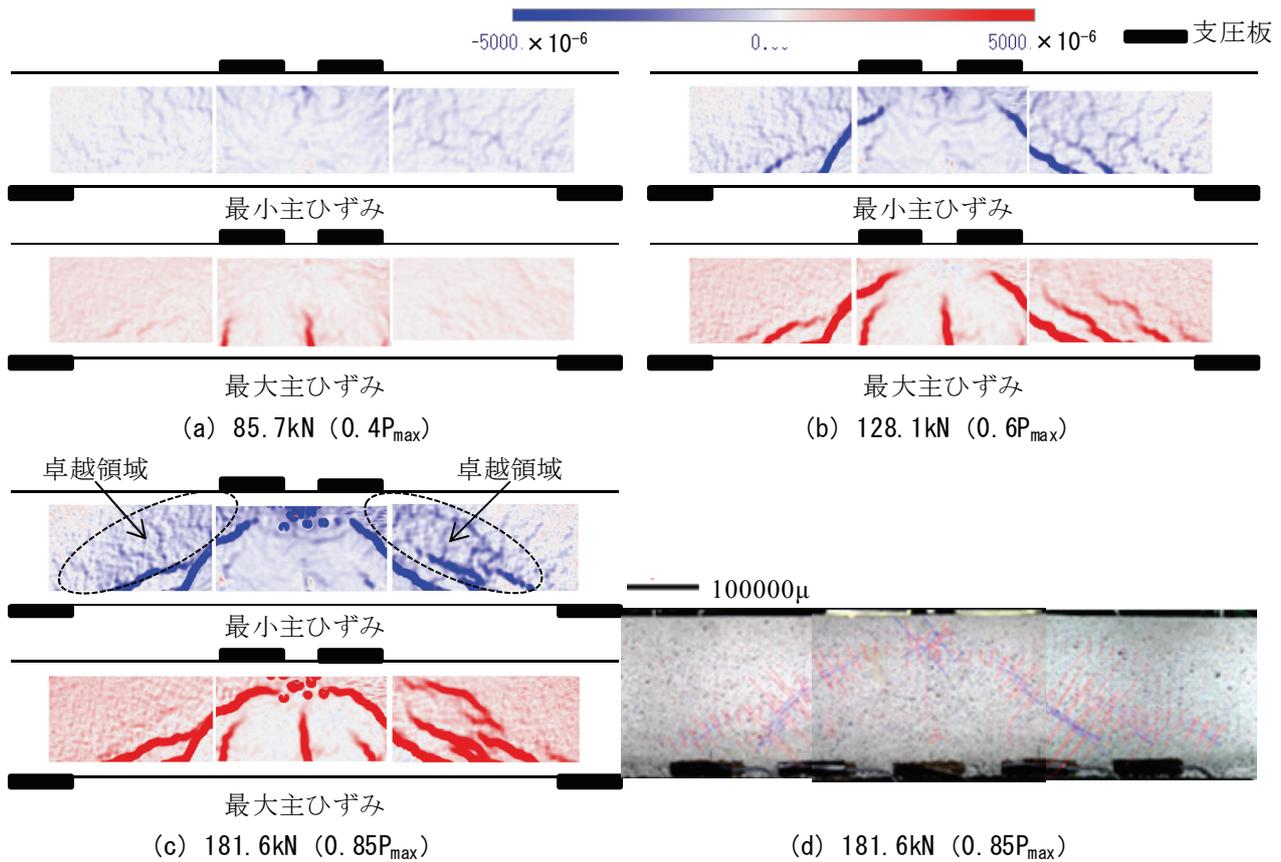


図-9 載荷試験時に計測された主ひずみ

図-8に、載荷試験で得た荷重-たわみ関係および試験終了後のひび割れ状況を示す。荷重の最大値 ( $P_{max}$ )は213.5kNであり、 $P_{max}$ に達した以降、荷重が急激に減少した。また、図-9に、載荷試験開始後に累積されたひずみを示す。曲げひび割れ位置では最大主ひずみのみ卓越して発生したが、斜めひび割れ位置では最小主ひずみも併せて卓越して発生した。図-9 (d)に主ひずみをベクトルで示すが、曲げひび割れ位置では直交方向に最大主ひずみが卓越して発生したが、斜めひび割れ位置では、さらに最小主ひずみが概ねひび割れ方向に卓越して発生していることが分かる。さらに斜めひび割れが発生した $0.6P_{max}$ 以降の最小主ひずみに着目すると(図-9 (c))、ひび割れ位置に合致しない領域でも、載荷点と支点間に最小主ひずみが卓越して発生していることが分かる。これは、斜めひび割れ発生以降、圧縮力が卓越して発生することで、PCはり荷重を保持していることを示していると考えられる。

#### 4. まとめ

PCはりに対して、デジタル画像相関法を使用した画像解析を適用した結果、プレストレス力導入後のひずみの変化を計測した結果、断面上部と比較して下部ではひずみが卓越して発生することを確認した。また、4点曲げ試験を実施した結果、斜めひび割れ発生以降、ひび割れ上部において最小主ひずみが卓越して発生する領域を確認した。

なお、本研究は、科学研究費補助金(25709037)によって実施したものです。

#### 参考文献

- 1) 野間康隆, 渡辺 健, 二羽淳一郎: 画像解析による高強度コンクリートの圧縮破壊性状の可視化ならびに評価, 土木学会論文集E, Vol. 66, No. 1, pp. 68-79, 2010.3.