

# 報告 ケミカルプレッシング後に機械的プレストレスを導入した CPC-PPC 部材の曲げ性状

栖原 健太郎\*1・辻 幸和\*2・李 春鶴\*3・小竹 弘寿\*4

**要旨**：鉄筋コンクリート部材に膨張材を用いて CPC (Chemically Pre-stressed Concrete) 部材に変換した後に機械的にパーシャルなプレストレスを導入した CPC-PPC (Partially Pre-stressed Concrete) 部材の曲げ性状の実験値と提案する解析方法により求めた計算値を報告する。すなわち、T 形断面と矩形断面について、膨張材の使用量と PC 鋼棒の緊張ひずみをそれぞれ 3 種類に変化させ、曲げひび割れ発生モーメント、引張鉄筋と PC 鋼棒のひずみの増加量、曲げひび割れ幅、および破壊モーメントについて、ケミカルプレストレスと機械的プレストレスのそれぞれの効果を提示し、両プレストレスの最適な組み合わせについても言及する。

**キーワード**：膨張コンクリート、ケミカルプレストレス、機械的プレストレス、曲げ性状、ひずみの増加量

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 部材に膨張材を用いてケミカルプレストレスを導入した CPC (Chemically Pre-stressed Concrete) 部材の優れた曲げ性状については、これまで多くの実験結果が報告されている<sup>1)3)</sup>。しかしながら、曲げ性状の更なる向上を目指して CPC 部材に機械的にパーシャルなプレストレスを導入した提案した CPC-PPC (Partially Pre-stressed Concrete) 部材の曲げ性状については、筆者等の実験結果<sup>4)</sup>以外報告されていない。またこれらの定量的な効果を解析で示した計算結果は、これまで公表されていない。

本文では、T 形断面と矩形断面の 2 種類の断面を対象として、単位膨張材量と機械的なプレストレス量をそれぞれ 3 種類に変化させた CPC-PPC 部材の曲げ性状について、実験結果と解析結果を対比して報告する。すなわち、解析において、コンクリートに導入されたケミカルプレストレスと鉄筋に導入されたケミカルプレストレンは、膨張コンクリートが拘束体の鉄筋に対してなす仕事量が拘束の程度に拘わらず一定であるとした仕事量一定の仮定<sup>5)</sup>を積層モデルに適用して算定<sup>6)</sup>した。そして、その後に導入した機械的なプレストレスの効果とその後の曲げモーメントが作用する CPC-PPC 部材における鉄筋、PC 鋼棒、コンクリートの応力とひずみの増加量を、同様に積層モデルを用いて力およびモーメントのつり合い条件から算定した結果も併せて提示する。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験要因

実験は、膨張コンクリートを用いた RC はりを作製し、

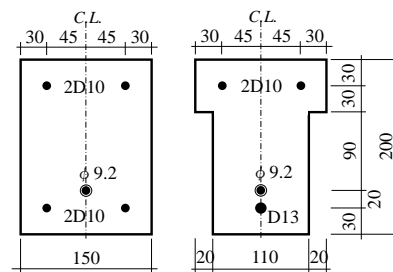


図-1 矩形断面と T 形断面の諸元

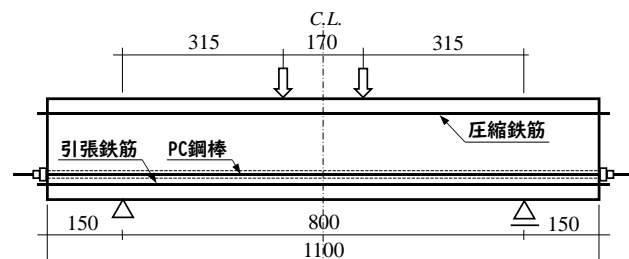


図-2 はりの荷重試験方法

表-1 鉄筋と PC 鋼棒の力学的性質

鋼材の呼び名	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
D10	190	371	542
D13	191	384	588
φ 9.2	199	1400	1478

その後に機械的なプレストレスを導入して、両プレストレスの断面内の分布を評価するステップと、同供試体に曲げモーメントを加えて曲げ性状を評価する 2 つのステップで構成した。

実験要因は、はりの断面形状、単位膨張材量、機械的

\*1 デンカ株式会社 インフラソリューション開発研究所主席研究員 博士 (工学) (正会員)

\*2 NPO 法人 持続可能な社会基盤研究会理事長 工学博士 (名誉会員)

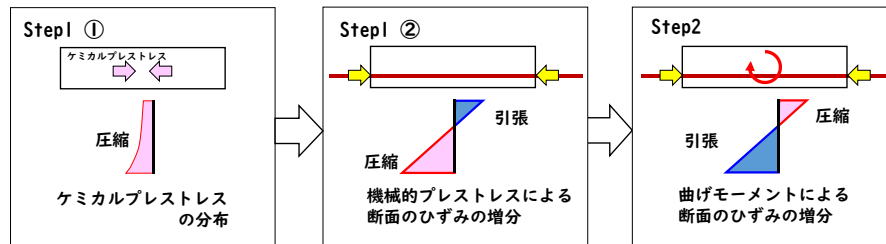
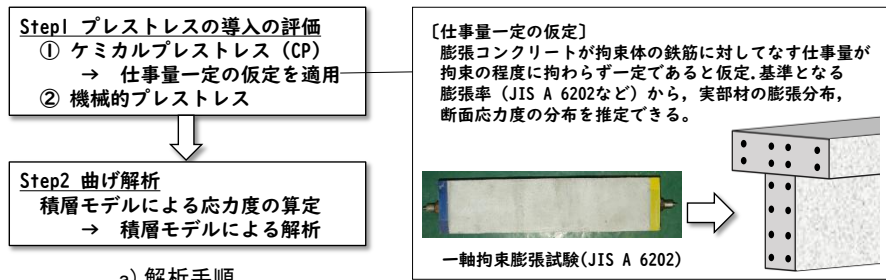
\*3 宮崎大学 工学教育研究部准教授 博士 (工学) (正会員)

\*4 デンカ株式会社 インフラソリューション開発研究所所長

表-2 実験要因, 実験および解析結果

実験要因		実験値 (入力値)				膨張率およびCPの評価*2		MPの評価*3		曲げ荷試験の比較*4							
断面形状	緊張ひずみ $\times 10^{-6}$	単位膨張材量 $\text{kg/m}^3$	圧縮強度 $\text{N/mm}^2$	膨張率 $\times 10^{-6}$ *1	緊張ひずみ $\times 10^{-6}$	引張鉄筋のひずみ $\times 10^{-6}$		下縁のCP $\text{N/mm}^2$		下縁のプレストレス $\text{N/mm}^2$		曲げひび割れ発生時 下縁の応力度 $\text{N/mm}^2$		曲げモーメント $\text{kNm}$		破壊時の曲げモーメント $\text{kNm}$	
						実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
T形	1000	0	49.5	0	1000	-	0	-	0.00	1.43	1.40	3.96	4.50	3.14	5.24	20.38	19.52
		40	49.3	270	960	242	244	0.59	0.46	1.38	1.34	5.82	4.89	4.61	5.74	20.19	19.53
		50	45.2	530	900	475	480	1.15	0.90	1.29	1.25	5.44	5.07	4.31	5.97	20.09	19.26
	3000	0	49.5	0	3840	-	0	-	0.00	5.51	5.35	8.91	8.45	7.06	8.88	20.38	19.52
		40	49.3	240	3710	215	217	0.52	0.41	5.32	5.19	9.77	8.69	7.74	9.19	20.38	19.54
		50	45.2	530	3630	475	480	1.15	0.90	5.20	5.08	9.77	8.90	7.74	9.41	20.09	19.38
	5000	0	49.5	0	5530	-	0	-	0.00	7.94	7.67	10.88	10.77	8.62	11.00	20.19	19.52
		40	49.3	270	5490	242	244	0.59	0.46	7.88	7.61	11.75	11.16	9.31	11.44	20.19	19.48
		50	45.2	550	5410	493	498	1.19	0.94	7.76	7.44	11.75	11.30	9.31	11.56	20.19	19.26
矩形	1000	0	49.5	0	950	-	0	-	0.00	1.01	0.99	4.61	4.09	4.61	6.06	21.85	20.39
		50	45.2	530	920	529	530	1.01	1.01	0.97	0.97	5.59	4.90	5.59	6.98	22.05	20.10
	3000	40	49.3	240	3710	240	240	0.46	0.46	3.93	3.88	8.04	7.43	8.04	9.91	22.25	20.41
		5000	0	49.5	0	5670	-	0	-	0.00	6.01	5.89	9.02	8.99	9.02	11.62	22.25
	50	45.2	550	5410	549	550	1.05	1.04	5.73	5.65	9.31	9.61	9.31	12.25	22.05	20.24	

\*1 JIS A 6202 附属書 B A 法一軸拘束膨張率, 材齢 14 日, \*2 材齢 14 日, \*3 材齢 21 日, \*4 材齢 28 日, 計算値は PC 鋼棒に付着がある場合で, コンクリートの引張強度  $f_t$  は JSCE 示方書に記載されている圧縮強度  $f_c$  の関数 ( $f_t = 0.23f_c^{2/3}$ ) とし, 参考文献(6) に示す 2 次曲線を用いた



b) 各ステップの断面内の応力分布の概念

図-3 CPC-PPC 部材の曲げ解析手順

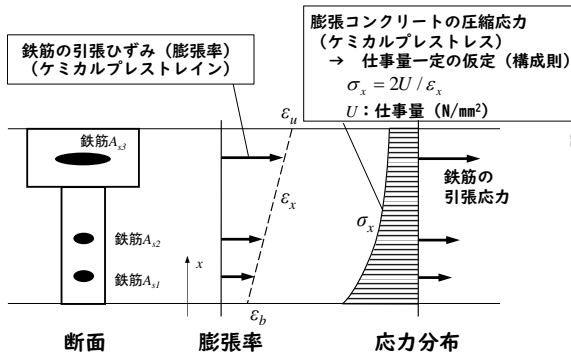
プレストレス量とした。はりの断面形状は, 図-1 に示す矩形断面と T 形断面の 2 種類とした。単位膨張材量は, 0, 40, 50 $\text{kg/m}^3$  の 3 水準とした。また, 機械的プレストレス量は, PC 鋼棒の緊張ひずみを 1000, 3000, 5000 $\times 10^{-6}$  の 3 段階に変化させた。なお, PC 鋼棒の緊張ひずみは, 単位膨張材量を 40 $\text{kg/m}^3$  および 50 $\text{kg/m}^3$  と増加させた水準では, ケミカルプレストレスの効果を見込んでそれぞれ約  $50 \times 10^{-6}$  減少させている。表-1 に使用した鉄筋および PC 鋼棒の力学的性質を, 表-2 に実験要因の一覧を示す。

## 2-2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は, 水結合材比が 50%, 単位結合材量が 330 $\text{kg/m}^3$ , 細骨材率が 38%, スランブが 3~5 $\text{cm}$ , 空気量が 1.5~2.0% の一定とした。膨張材は, エトリンガイト系の膨張材をセメントと置き換えて用いた。自由膨張させた場合でも膨張作用によりコンクリートに著しい強度低下の生じない程度である。なお, セメントには早強ポルトランドセメントを用いた。

## 2-3 供試体の養生および機械的プレストレスの導入

供試体の養生は, 材齢 14 日まで実験室内 (平均気温



- ① 膨張率  $\epsilon_u$ ,  $\epsilon_b$  を仮定
- ② 応力-ひずみの関係から応力分布を算定  
→ 膨張コンクリートは、仕事量一定の仮定を適用
- ③ 断面内の力およびモーメントを算定
- ④ つり合い条件を満足した場合、終了  
満足しない場合、①へ戻り、収束計算を繰り返す。

図-4 コンクリートに導入されるケミカルプレストレスと鉄筋に導入されるケミカルプレストレインの推定概念

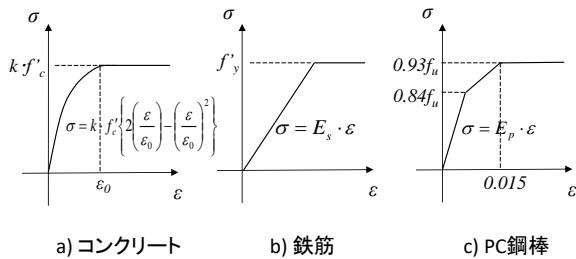


図-5 部材の応力-ひずみの関係

15℃) で水中養生を行い、その後は室内に放置した。材齢 21 日において機械的プレストレスを導入し、直ちにグラウトを行い、材齢 28 日に曲げ載荷試験を行った。

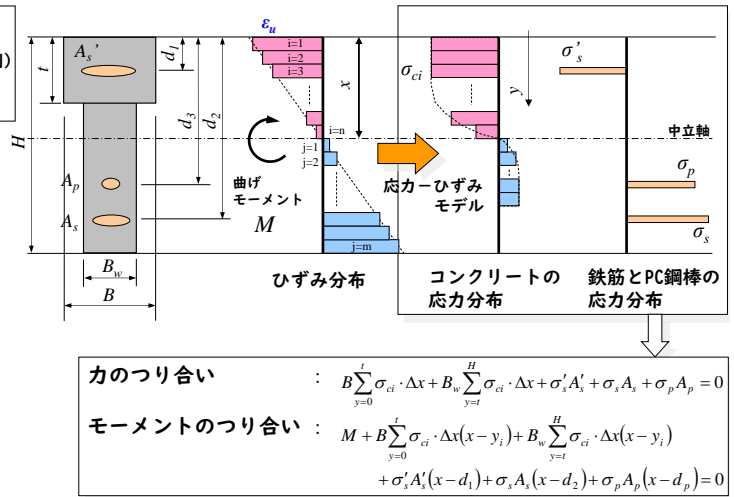
PC グラウトは、水セメントが 44% で、反応遅延性アルミニウム粉末を主成分とする膨張剤をセメントの 0.008% 添加して作製した。PC グラウトの J 漏斗による流下時間が 10 秒、材齢 7 日の圧縮強度が 31.5 N/mm<sup>2</sup> であった。なお、セメントには、早強ポルトランドセメントを用いた。

#### 2-4 曲げ載荷試験

供試体の曲げ載荷試験は、図-2 に示すように、曲げモーメントの一定区間が 170mm の 2 点集中載荷とした。試験では、鉄筋、PC 鋼棒およびコンクリートのひずみをひずみゲージを用いて測定した。曲げひび割れ幅は、供試体側面の引張鉄筋の位置において、コンクリート表面に 50mm の間隔ではり中央から左右 250mm の区間に貼付した鋼球チップ間の伸びを、コンタクト型ひずみ計を用いて求めた。

#### 3. コンクリートの膨張率と圧縮強度

JIS A 6202 の A 法一軸拘束器具による膨張コンクリートの膨張率および圧縮強度を表-2 に示す。膨張率は、1 配合 3 本の A 法一軸拘束器具による同一の 2 配合分の平



力のつり合い :  $B \sum_{y=0}^i \sigma_{ci} \cdot \Delta x + B_w \sum_{y=t}^H \sigma_{ci} \cdot \Delta x + \sigma'_s A'_s + \sigma_s A_s + \sigma_p A_p = 0$

モーメントのつり合い :  $M + B \sum_{y=0}^i \sigma_{ci} \cdot \Delta x (x - y_i) + B_w \sum_{y=t}^H \sigma_{ci} \cdot \Delta x (x - y_i) + \sigma'_s A'_s (x - d_1) + \sigma_s A_s (x - d_2) + \sigma_p A_p (x - d_p) = 0$

図-6 積層モデルによる CPC-PPC 部材の曲げ解析の概念

均値で、供試体と同じ水中養生を行った材齢 14 日の値である。単位膨張材量が 40kg/m<sup>3</sup> と 50kg/m<sup>3</sup> のいずれも、材齢 7 日までに大半の膨張が生じ、材齢 14 日までの増加は微量であった。材齢 14 日以降、供試体と同様に室内養生したところ、材齢 28 日の曲げ載荷試験時には材齢 14 日を起点として 100~150×10<sup>-6</sup> の収縮を示した。

圧縮強度は、単位膨張材量が 0kg/m<sup>3</sup> の場合の 49.5N/mm<sup>2</sup> に対して 40kg/m<sup>3</sup> の場合では 49.3N/mm<sup>2</sup> とほぼ同じ値となったが、50kg/m<sup>3</sup> の場合では 45.2N/mm<sup>2</sup> となり、膨張材の使用により約 10% の強度低下を生じた。

これらの実験値は、PC 鋼棒の緊張ひずみとあわせて、後述する解析における入力値とし、表-2 に実験値 (入力値) として併記した。

#### 4. ケミカルプレストレスと機械的プレストレスを導入した CPC-PPC 部材の曲げ解析

解析手順の概念を図-3 に示す。解析は、プレストレスを評価するステップと、外力による曲げ解析の 2 つのステップで構成した。プレストレスの評価は、ケミカルプレストレス (以下、CP と略す) と、機械的プレストレス (以下、MP と略す) とで区分した。

CP によってコンクリートに導入されるケミカルプレストレスと鉄筋に導入されるケミカルプレストレインの推定には、図-4 に示す仕事量一定の仮定<sup>5)</sup>を断面の高さ方向に微小要素で分割した積層モデルに適用<sup>6)</sup>して算定した。仕事量一定の仮定は、膨張コンクリートが拘束体の鉄筋に対してなす仕事量が拘束の程度に拘わらず一定であると仮定し、応力-ひずみの構成則を仕事量と関連づけたものである。この構成則によって、基準とする膨張率から、膨張率の試験と同一養生を実施した任意の RC 断面に生じるケミカルプレストレスおよびケミカルプレストレインを推定することができる。

その後の MP でも同様に積層モデルを用いて PC 鋼棒の緊張ひずみを含む断面内の力およびモーメントのつり合い条件から、MP による応力およびひずみの増加量を算定した。算定に用いた応力-ひずみの関係は、コンクリート、鉄筋および PC 鋼棒のいずれも、土木学会コンクリート標準示方書設計編<sup>7)</sup>(以下、JSCE 示方書と略す)に示されている図-5 を適用した。

計算結果として、材齢 14 日の A 法一軸拘束膨張率、はりに生じた引張鉄筋のひずみ、鉄筋のひずみから計算したコンクリート下縁に導入されたケミカルプレストレス、機械的プレストレスを導入した際の PC 鋼棒の緊張ひずみ、それによるコンクリート下縁に導入されたプレストレスを、それぞれ表-2 に示す。それぞれの実験値と計算値において、若干のバラツキが認められるが、概ね整合していることがわかる。

ケミカルプレッシングと機械的プレストレスを導入した CPC-PPC 部材の外力による曲げ解析も、同様に図-6 に示す積層モデルを用いた。断面内の力およびモーメントのつり合いから、作用した曲げモーメントに対する断面内の応力度、ひずみを算出するものである。その過程における任意の積層部分の応力-ひずみの状態変化の一例を図-7 に示す。

図-7 a)にコンクリートの状態変化を示す。ステップ 1 のプレストレスの導入過程において、コンクリートの応力-ひずみの状態は、CP により原点から点 A へ、MP により点 A から点 B へ移る。ステップ 2 の曲げ解析の過程では、さらに外力である曲げモーメントを受ける。この外力によって、点 B から点 C に変化し、引張域では引張力を受ける。この変化量が、外力によるひずみの増加量であり、応力の増加量となる。なお、点 B を起点とした増加量を全断面で積和したものが、外力とのつり合い条件を満たす。

同様に図-7 b)に、引張鉄筋の状態変化を示す。CP による増加量は、仕事量一定の仮定により算定した鉄筋の膨張率であるケミカルプレストレインが点 A となる。その後、MP によって鉄筋に圧縮応力が作用し、MP による変化(増加量だが、負値となる)によって、点 A から点 B に移動する。さらに外力を受けた場合、引張域において点 B を起点として点 C になる。

PC 鋼棒の状態変化は、PC グラウトとの付着力が充分で一体として挙動する場合と付着力が不十分でアンボンドとして挙動する場合を仮定した。前者の付着有の場合は断面内のひずみの直線性が仮定できるが、後者のアンボンドの場合はひずみの直線性が満足しない。そのため、PC 鋼棒位置の定着板内面間における外力による PC 鋼棒の伸びの増加量が、コンクリートの伸びの増加量に等しくなる適合条件を満たすことにより求めた。

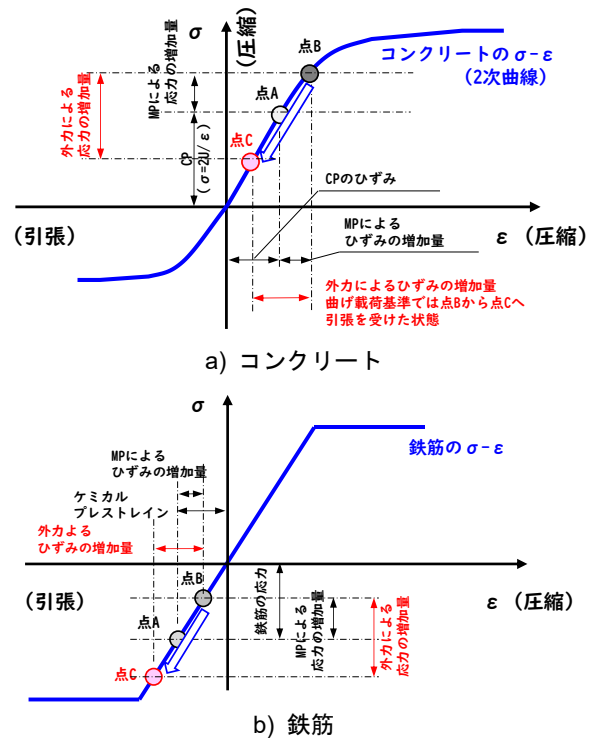


図-7 各過程における応力-ひずみの状態変化

なお曲げ載荷試験では、荷重を加える前をゼロとするので、実測されるひずみは、図-7における点 B からの増加量である。以下の図では、点 B を起点にした。

## 5. 曲げひび割れ発生モーメント

表-2 に、曲げひび割れ発生時の曲げモーメントの実験値と計算値を示す。曲げひび割れの発生は、はり供試体の底面に貼付したひずみゲージによる引張ひずみの急変点で判定した。計算値は、付着有の場合であり、積層モデルを用いて引張縁のコンクリートの応力が引張強度に達したときの曲げモーメントとした。

表-2 より PC 鋼棒の緊張ひずみが大きくなると、曲げひび割れ発生モーメントは大きくなる。また、緊張ひずみが  $5000 \times 10^{-6}$  では明瞭な差が認められなくなるが、曲げひび割れ発生モーメントは、膨張材の使用により増加している。しかしながら、いずれの緊張ひずみにおいても、単位膨張材量が  $50 \text{kg/m}^3$  の場合の曲げひび割れ発生モーメントは、 $40 \text{kg/m}^3$  のものと大きな差が認められなかった。表-2 で示した T 形断面の下縁に導入したケミカルプレストレスは、いずれの緊張ひずみにおいても、単位膨張材量が  $40 \text{kg/m}^3$  で約  $0.6 \text{N/mm}^2$ 、 $50 \text{kg/m}^3$  で約  $1.2 \text{N/mm}^2$  が導入されているが、単位膨張材量が  $50 \text{kg/m}^3$  の場合では、前述した膨張による圧縮強度の低下が生じたため引張強度が低下し、その分、曲げひび割れ発生モーメントが小さくなり、両者の値に大きな差が認められなかったことが解析からも確認できる。なお、実験値は計算値より小さくなっているが、材齢 14 日から曲げ載

荷試験の材齢 28 日までの間、はり供試体を室内で養生したため、一軸拘束膨張試験と同様に、コンクリートに乾燥による引張応力が生じたことが原因と思われる。

## 6. 引張鉄筋と PC 鋼棒のひずみの増加量

曲げモーメントの増加に伴う引張鉄筋および PC 鋼棒のひずみの増加量を、それぞれ図-8 a)および b) に示す。なお、図中に計算値を併記した。

曲げひび割れの発生前において、引張鉄筋および PC 鋼棒のひずみの増加量は、膨張材の使用による影響はほとんど認められず、ほぼ等しいひずみの変化を示している。そして、計算値は、実験値にほぼ一致している。また、曲げひび割れ発生モーメントは、5.で述べたように、CP および MP に対応して一般に大きくなっている。

曲げひび割れ発生後は、断面に生じる大半の引張力を引張鉄筋と PC 鋼棒が分担して受けもつため、これらのひずみの増加量が著しくなる。図-8 a)より、曲げひび割れ発生後の同じ曲げモーメントに対する引張鉄筋のひずみの増加量は、膨張材の使用量が多くなるほど一般に小さくなっている。膨張材の使用により、引張鉄筋があらかじめ表-2 に示したような引張ひずみのケミカルプレストレインを生じたことによるもので、引張ひずみはその後の MP により少し減少するが、材齢 28 日の曲げ載荷試験時においても存続していることを示している。

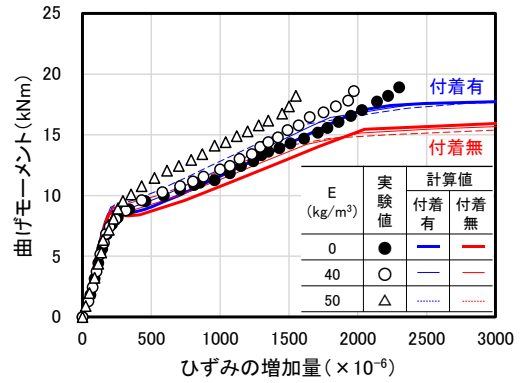
PC 鋼棒のひずみの増加量は、図-8 b) に示すように、引張鉄筋ほど著しくはないが、単位膨張材量の増加とともに小さくなっており、CP の効果により小さくなっていることが認められる。

外力の曲げモーメントに対する PC 鋼棒のひずみの増加量の実験値は、PC 鋼棒と PC グラウトに付着がある場合より小さく、付着の無いアンボンドの場合の計算値より大きくなっている。そして、曲げモーメントが大きくなると、アンボンドの計算値に近づいている。また、PC 鋼棒の応力度が降伏強度の 84%を超えると、図-5 c) に示したように応力とひずみの勾配を小さく仮定しているため、ひずみの増加量の計算値は、実験値以上に増加していることも認められる。なお、引張鉄筋のひずみの増加量の計算値は、PC 鋼棒の付着の影響が小さく、実験値より少し大きくなっている。

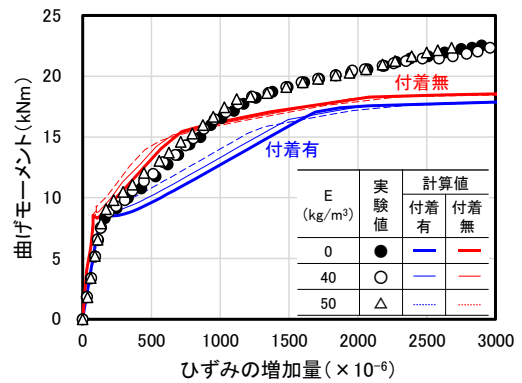
他の緊張ひずみにおいても、実験値および計算値はともにこれらの傾向が同様に認められた。

## 7. 曲げひび割れ幅

曲げひび割れ幅と外力の曲げモーメントとの関係を図-9 に示す。T 形断面での曲げひび割れ幅は、曲げモーメント一定区間で卓越した PC 鋼棒の緊張ひずみが  $1000 \times 10^{-6}$  において 3 本の、 $3000 \times 10^{-6}$  および  $5000 \times 10^{-6}$



a) 引張鉄筋のひずみ



b) PC 鋼棒のひずみ

図-8 曲げモーメントによるひずみの増加量 (T 形断面、緊張レベル  $3000 \times 10^{-6}$ )

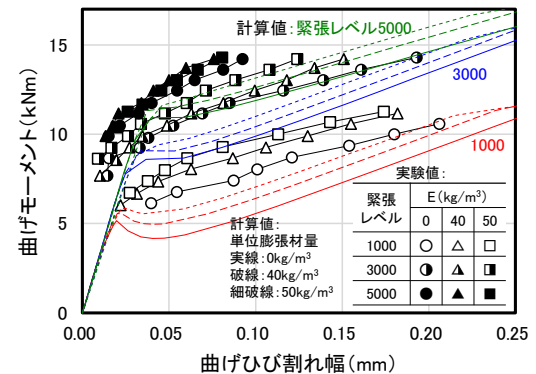


図-9 曲げひび割れ幅 (T 形断面)

において 2 本のそれぞれの平均値で示している。

これまでも明らかにされているように、PC 鋼棒の緊張ひずみが大きくなると、いずれの荷重においても曲げひび割れ幅が小さくなっている。また、PC 鋼棒の緊張ひずみが  $3000 \times 10^{-6}$  クラスまでは、膨張材の使用量が  $50 \text{ kg/m}^3$  まで多いほど、曲げひび割れ幅が小さくなり、曲げひび割れ発生モーメントの場合のように、膨張材の使用量に限界があることは認められない。しかしながら、緊張ひずみが  $5000 \times 10^{-6}$  クラスになると、ケミカルプレッシングの効果が小さくなるとともに、曲げひび割れ発生モーメントおよび引張鉄筋のひずみの増加量と

同様に、単位膨張材量を  $40\text{kg/m}^3$  から  $50\text{kg/m}^3$  に増加しても、その効果がほとんど認められない。

図-9には、JSCE 示方書に規定されている曲げひび割れ幅の計算値<sup>7)</sup>を併記した。PC 鋼棒に付着がある場合であり、引張鉄筋が1本であるため鉄筋のあきに関する項目を零とし、かぶりは側面と下面の平均値を用いて計算した。計算値は実験値の約2倍であったが、CPC-PPC 部材の曲げひび割れ幅に及ぼす、単位膨張材量と PC 鋼棒の緊張ひずみの影響は、実験値と同様の傾向が求められている。今後は、アンボンドの場合を含め、CPC-PPC 部材の曲げひび割れ幅の計算方法を検討していきたい。

## 8. 破壊時の曲げモーメント

大部分のはり供試体は、曲げひび割れの発生後から斜めひび割れが発生したが、最終的にはすべてのはりで曲げ破壊を生じた。破壊時の曲げモーメントの実測値と PC 鋼棒に付着のある場合の計算値を表-2 に示す。また、破壊後の一例を写真-1 に示す。

破壊時の曲げモーメントの計算値は、実測値に比べて10%程度小さい値となっている。計算では、PC 鋼棒の緊張ひずみは破壊時の曲げモーメントに影響を及ぼさないが、破壊時の曲げモーメントの実測値は、PC 鋼棒の緊張ひずみが高いほど増加している。しかしながら、その差は約10%程度以内である。

また、膨張材を  $50\text{kg/m}^3$  まで使用しても、CPC-PPC 部材の破壊時の曲げモーメントは膨張材を用いないはりとほぼ等しいことも、実測値と計算値で確かめられた。

## 9. まとめ

RC はりについて、膨張コンクリートの使用によるケミカルプレストレスの効果とその後導入した機械的プレストレスの効果を組み合わせた複合効果を確認するため、単位膨張材量を3水準、PC 鋼棒の緊張ひずみを3段階に変化させた T 形断面と矩形断面のはりについて実験的に検討した。また提案した積層モデルによる計算値についても、対比して示した。本研究の範囲内で、次の知見が得られた。

- (1) 膨張によるコンクリートの品質低下の小さい単位膨張材量として  $40\text{kg/m}^3$  程度を用いてケミカルプレストレスと機械的プレストレスを導入した CPC-PPC はりの外力モーメントによる引張鉄筋と PC 鋼棒のひずみの増加量は、PC 鋼棒の緊張ひずみが低レベルから高レベルの広範囲において、導入したプレストレス量に応じて減少することが確認された。
- (2) 単位膨張材量を  $50\text{kg/m}^3$  まで増加した場合、ケミカルプレストレスの効果が認められたが、自由膨張させたコンクリートの圧縮強度が膨張材を用いない



写真-1 曲げ載荷試験後の供試体 (T-40-1000)

普通コンクリートに比べて約10%低下したため、膨張材の使用量の増加に伴う効果がほとんど期待できなかった。

- (3) 曲げひび割れ発生モーメントおよび曲げひび割れ幅についても、(1)と同様に、膨張コンクリートによるケミカルプレストレスと機械的なプレストレスの導入効果が、それぞれ複合して認められた。
- (4) 積層モデルに仕事量一定の仮定を適用して CPC 部材のケミカルプレストレスを推定し、さらに機械的なプレストレスの導入、その後の曲げモーメントが作用した場合の曲げ解析の一連の計算を連続して行う方法を提案した。
- (5) 提案した CPC-PPC はりの計算方法により、膨張コンクリートのケミカルプレストレスと機械的なプレストレスの導入効果が最適となる組合せを求められる可能性が得られた。

## 参考文献

- 1) 辻幸和：コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究，土木学会論文報告集，第235号，pp.111~124，1975.3
- 2) 栖原健太郎，岡村雄樹，辻幸和，吉野亮悦：有効高さが異なる RC 梁と CPC 梁の曲げひび割れ幅，セメント・コンクリート論文集，No.66，pp.326-331，2013.2
- 3) 栖原健太郎，辻幸和，吉野亮悦，岡村雄樹：曲げひび割れ幅算定式の適用性の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.607-612，2013.7
- 4) 辻幸和，岩井稔，丸山久一：ケミカルプレストレスと機械的プレストレスを導入した RC はりの曲げ性状，コンクリート工学年次論文報告集10-3，pp.39-44，1988.7
- 5) 辻幸和：ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法，コンクリート工学，Vol.19，No.6，pp.99~105，1981.6
- 6) 栖原健太郎，李春鶴，芦田公伸，辻幸和：膨張コンクリートを用いた CPC はりの曲げひび割れ幅の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，pp.229-234，2009
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕2017年制定，土木学会，2018.3