

# 非対称な鉄筋配置のT形とL形断面を有するCPC部材の膨張分布

NPO法人持続可能な社会基盤研究会 理事長 辻 幸和

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物において、ひび割れの制御は重要な課題である。ケミカルプレストレストコンクリート(CPC:Chemically pre-stressed concrete)は、膨張材を収縮補償の用途に比べ多く混合する。これにより鉄筋には、膨張側の体積変化を多く起こす膨張コンクリートとの付着によって、ケミカルプレストレインと称する引張ひずみが、その位置の膨張コンクリートの膨張ひずみと同量発生する。この時、鉄筋によって拘束されているコンクリートにはケミカルプレストレスと呼ばれる圧縮応力が導入されるため、曲げひび割れ発生耐力はケミカルプレストレスに相当する分増加する。ひび割れ発生後に生じる鉄筋の引張ひずみは、ケミカルプレストレインと外力を受けた鉄筋の引張ひずみの増加量を合計した値になるため、外力を受けた鉄筋の引張ひずみの増加量をケミカルプレストレインに相当する分低減することができ、部材の曲げひび割れ発生後のひび割れ幅を小さく制御することができる。このように、CPC部材は優れた力学的性状を持つが、実構造物へ適応するには、導入され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の精緻な把握が重要である。これまでの研究<sup>1)</sup><sup>2)</sup>では、対称な断面を持つCPC部材の膨張ひずみ分布のみが報告されているが、実構造物においては合成桁の床版上に壁高欄を片側に打ち込むなどの対称軸を持たないコンクリート構造物も存在しているため、まずは鉄筋の配置を含めた非対称な断面を持つ場合の膨張ひずみ分布も明らかにする必要がある。

本研究では、T形断面とL形断面を持ち、鉄筋配置をそれぞれ4種類変更することで非対称断面としたCPC部材の膨張ひずみの分布を報告する。

## 2. 供試体および使用材料と配合の概要

梁供試体の断面形状と形状寸法を図-1に示す。断面の形状はT形断面とL形断面とし、鉄筋の配置をそれぞれ4種類変化させた合計8種類である。鉄筋が配置された列を梁供試体の左からそれぞれA断面、B断面、C断面、D断面としている。鉄筋はJIS G 3112に適合している呼び名が10mmと19mmの異形鉄筋を用いた。測定対象の中央部分において安定した膨張ひずみ分布を生じさせるために、鉄筋には十分な付着を生じる区域を確保する必要がある。したがって、梁供試体の全長はフランジ幅の3倍となる1200mmとした。

TLとLLはすべての鉄筋がD10で構成されており、基準の断面としている。TMとLMはA断面の鉄筋をD19に変更した梁供試体となっている。TNとLNはA断面上段・中段鉄筋とB、C断面の下段鉄筋をD19に変更した梁供試体である。TOとLOはA断面中段鉄筋とB断面下段鉄筋をD19に変更した梁供試体である。

本論文では測定した鉄筋ひずみを用いてコンクリートの膨張ひずみ分布を表すため、鉄筋の引張ひずみを膨張ひずみと称する。膨張ひずみの測定は、梁供試体の長手方向の中央部よりそれぞれ10cmの位置の鉄筋表面に貼付したゲージ長6mmのワイヤストレインゲージを2枚用いて、その平均値とした。

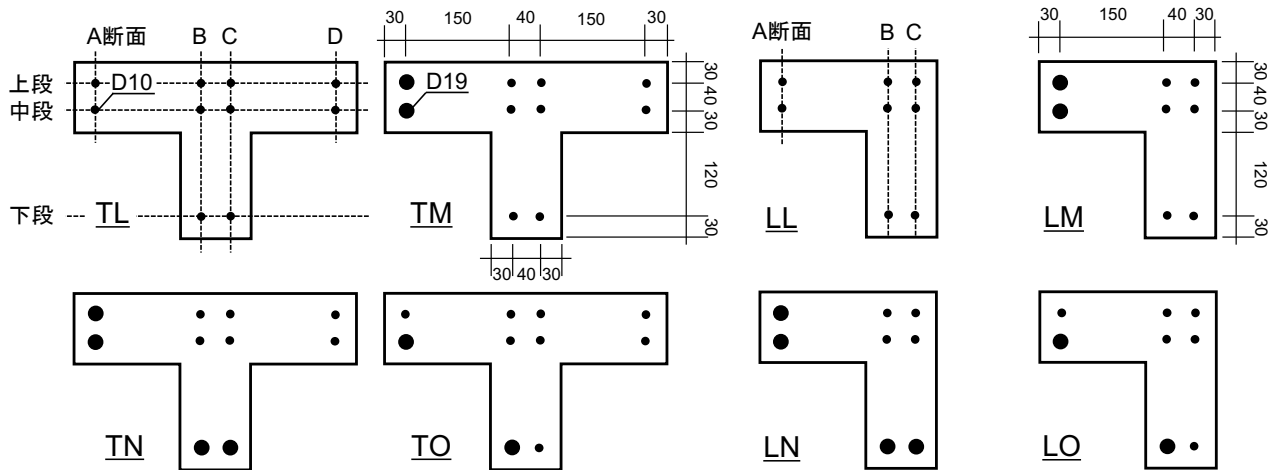


図-1 供試体の断面形状と鉄筋の配置図

表-1 コンクリートの配合

水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
		水	セメント	細骨材	粗骨材	膨張材	AE 減水剤
50	39	165	300	748	1180	30	0.938

表-2 A 法一軸拘束膨張率と圧縮強度

作製供試体	A 法一軸拘束膨張率(×10 <sup>-6</sup> )		圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	湿布養生	水中養生	湿布養生	水中養生
TL,TN	318	342	46.8	43.8
TM,LL,LN	342	403	48.2	46.9
TO,LM,LO	238	312	43.7	42.4

セメントは普通ポルトランドセメントを用い、骨材は粗骨材と細骨材ともに大分県津久見産である。膨張材はエトリンガイト・石灰複合系を用いた。表-1に本研究で用いたコンクリートの配合を示す。水結合材比と細骨材率は既往の研究<sup>2)</sup>の配合を参考として、それぞれ50%と39%とし、単位膨張材量を30kg/m<sup>3</sup>とした。

梁供試体は3回に分けて作製をし、打込みごとに6本のJIS A 6202 附属書Bに規定されたA法一軸拘束試験体、および圧縮強度試験体を同時に作製した。すべての梁供試体および試験体は打込みの直後から20±2℃の環境で養生し、材齢1日で脱型を行った。脱型後L形断面は、図-1に示す状態から180度時計回りに回転して、L形になるように設置して養生した。

梁供試体と3本のA法一軸拘束試験体、圧縮強度用試験体は、脱型後すぐに20±2℃の養生室にて湿布養生を行った。残りのA法一軸拘束試験体、圧縮強度用試験体は、20±2℃の水中養生を行った。表-2にA法一軸拘束試験体の材齢7日における膨張率と、材齢28日における圧縮強度を示す。

### 3. 一軸拘束膨張率

図-2に、A法一軸拘束膨張率の平均値と材齢の関係を示す。いずれの試験体も膨張率は材齢1日まで

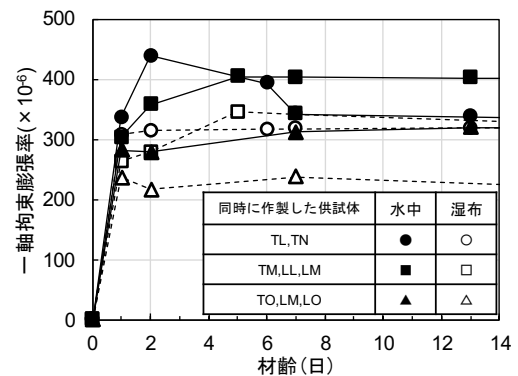


図-2 A 法一軸拘束膨張率の経時変化

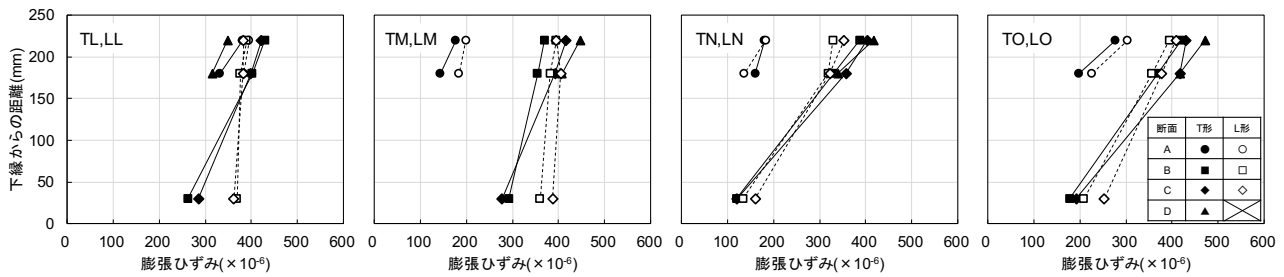


図-3 T形断面とL形断面の膨張ひずみ分布(材齢7日)

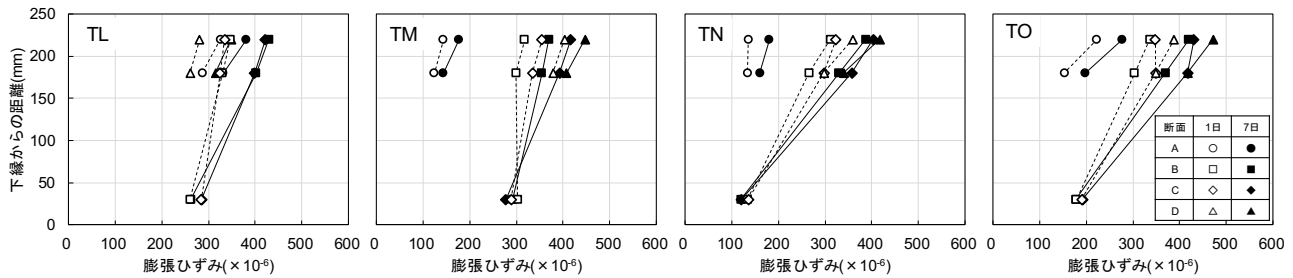


図-4 T形断面の材齢1日と7日の膨張ひずみ分布の比較

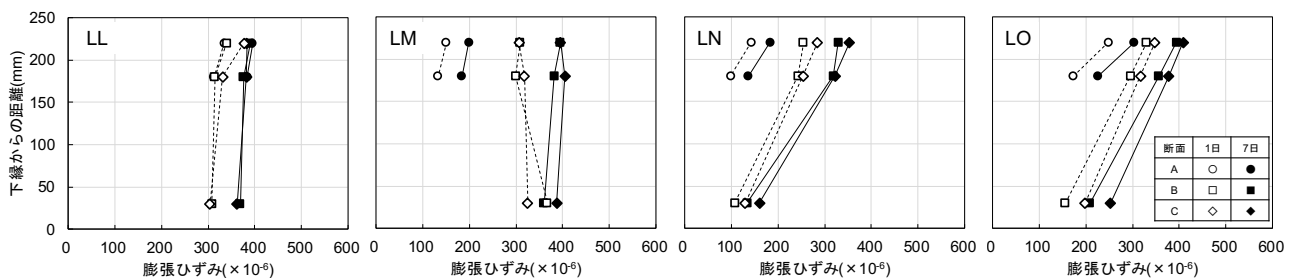


図-5 L形断面の材齢1日と7日の膨張ひずみ分布の比較

に急激に増加し、材齢7日には安定していることが分かる。湿布養生した試験体は材齢1日で膨張反応は落ち着き、その後の膨張率の増加はほとんど見られない。水中養生した試験体は、材齢5日まで膨張を続けている。

各試験体の膨張が安定した材齢7日の膨張率を比較した場合、湿布養生した試験体の平均膨張率が  $299 \times 10^{-6}$  であり、水中養生した試験体の平均膨張率は  $352 \times 10^{-6}$  となった。これは、材齢1日目に脱型した後に膨張に必要な水分が十分に供給されたためであると考えられる。

#### 4. D19の配置による膨張ひずみへの影響

図-3に、各断面形状における膨張ひずみ分布を示す。T形とL形の断面に関係なく、鉄筋をD19に変更したとしても、B断面とC断面における長手方向の軸方向膨張ひずみは高さ方向に直線分布をとることが認められる。鉄筋4本をD19に置き換えたTNとLNにおいては、拘束が大きい鉄筋が配置されたことによってその箇所の膨張ひずみが低下したため、高さ方向の膨張勾配が大きくなっている。A断面中段とB断面下段にD19を1本ずつ偏心して配置したTOとLOにおいても、TNとLNと同様に膨張勾配が大きくなっている。そして、全ての鉄筋をD10としたTLとLLが最も膨張勾配が小さくなっている。

#### 5. T形とL形における膨張ひずみの比較

図-3から同じ鉄筋配置におけるT形断面とL形断面の断面形状の違いが膨張ひずみの分布に及ぼす影響を把握するため、ウェブ部分のB断面とC断面の鉄筋の膨張ひずみを比較する。すなわち、TLとLL、TMとLMを比較した場合、B、C断面の上段鉄筋はT形の膨張ひずみが大きく、下段鉄筋はL形の膨張ひず

みが大きい結果となっていることが確認できる。L形断面は右フランジ部分が欠損したT形断面と同様の形状となっているため、T形断面はL形断面と比べると右フランジ部分の膨張コンクリートの分だけB、C断面の鉄筋が多くの膨張エネルギーを受け取ることができる。その結果T形断面の上段鉄筋の膨張ひずみがL形断面よりも大きくなっていると考えられる。

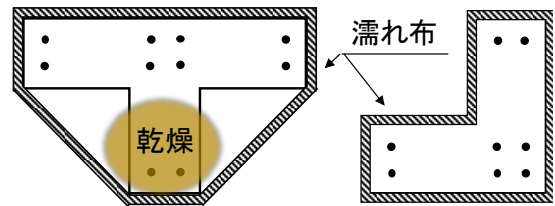


図-6 梁供試体の養生方法

図-4にはT形断面の材齢1日と材齢7日の膨張ひずみ分布を、図-5にはL形断面の材齢1日と材齢7日の膨張ひずみ分布をそれぞれ対比して示す。T形断面の膨張ひずみは脱型前の型枠内に設置されている状態の材齢1日から材齢7日までで上段鉄筋は膨張が進んでいる。しかし、下段鉄筋においては材齢が経過したとしても膨張ひずみが増加していないことが確認できる。これは、図-6に示すように、脱型した後にT形断面に施した湿布養生において、下段部分は濡れ布で十分に覆うことができず十分な水分が供給されなかったためであると考えられる。L形断面ではT形断面と比べて濡れ布で全面を覆うことができたため、比較的全断面で湿潤状態を保ち、脱型後も膨張反応が進んでいることが確認された。そのため、図-3に示している材齢7日におけるT形断面とL形断面の膨張ひずみの分布を比較した場合の下段鉄筋における膨張ひずみの差は、T形断面の下段部分に十分な水分が供給されなかったためであると考えられる。また、梁供試体は木製の5cmの角材を端部よりそれぞれ長さの1/4の30cmの位置においてその上で養生したため、角材を介しての設置面の拘束により、ウェブ下段部分からフランジ上段部分のコンクリートに膨張勾配が生じた可能性も考えられる。

今後は、これらの拘束を考慮した対称軸のない膨張ひずみの推定方法を開発していく予定である。

## 6. まとめ

T形断面とL形断面を持つ、非対称断面の鉄筋コンクリート梁に膨張コンクリートを適用したCPC梁に生じる高さ方向の軸方向膨張ひずみの分布を、D10とD19の2種類の鉄筋配置を任意に4種類入れ替えることで、合計8体の梁供試体から測定した結果を報告した。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 非対称断面を持つT形断面とL形断面において、D19の鉄筋の配置を任意の位置に変更したとしても、軸方向膨張ひずみは高さ方向に直線分布を維持する。
- (2) 軸方向膨張ひずみの高さ方向の分布を、鉄筋配置が同様なT形断面とL形断面で比較した場合、T形断面はL形断面には無い鉄筋の拘束が小さい右フランジ部分の膨張コンクリートの膨張エネルギーを左フランジとウェブの部分の鉄筋が受け取り、膨張ひずみが増加している。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、実験の実施に御指導と御協力を頂いた宮崎大学の李春鶴准教授と安井賢太郎様、広島大学の半井健一郎教授に心より感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 李春鶴, 辻幸和, 栖原健太郎: T形断面を有するCPC部材の膨張分布, プレストレストコンクリート工学会第27回シンポジウム論文集, pp. 485-490, 2018. 11
- 2) 栖原健太郎, 辻幸和, 李春鶴: T形断面と矩形断面を有するCPC部材の膨張分布, コンクリート工学年次論文集, Vol. 41, No. 1, pp. 1517-1522, 2019. 7

本報告の出典は、「西崎辰治, 辻幸和, 五十嵐数馬, 神頭峰磯: 非対称な鉄筋配置のT形とL形断面を有するCPC部材の膨張分布, プレストレストコンクリート工学会 第29回シンポジウム論文集, pp.307-310, 2020.10」である。