

[9] 乾燥収縮を受けたケミカルプレストレストコンクリート梁の曲げ特性

正会員 ○辻 幸和 (群馬大学 工学部)

正会員 丸山久一 (長岡技術科学大学工学部)

1. まえがき

機械的なプレストレスに代わり、ケミカルプレストレスを利用することによってもRC部材のひびわれ制御が可能なることを著者らは従来より提唱しており¹⁾、既にヒューム管やボックスカルバートなどの工場製品には、このような考え方に基づくケミカルプレストレスの積極的な利用がなされている。しかし、これらの製品は最終的に地中に埋設されるものが大半であるため、ケミカルプレストレストコンクリート(CPC)部材が乾燥収縮を受けた場合の力学的性状についての実験結果はほとんど報告されていない。

本研究は、所定の養生によりケミカルプレストレスを導入したCPC梁を、恒温恒湿室で乾燥させた後に、荷重試験を行って求めた曲げひびわれ発生モーメント、曲げひびわれ幅、たわみ、および破壊荷重について通常のRC梁と比較し、ケミカルプレストレスの効果を検討した結果を報告するものである。

2. 実験の概要

実験は2シリーズに分けて行った。各シリーズの断面諸元と荷重方法を図-1および図-2に示す。シリーズ1は、幅が10cm、高さが20cmの矩形断面にD16鉄筋を4本断面对称に配置した梁を基本にして、乾燥期間を変化させた。また、単鉄筋梁についても試験した。SD60クラスの引張鉄筋を用いるとともに多量の鉄筋($A_{st}/bh=3.97\%$)を配置して、乾燥を受けた場合の影響が顕著に現われること、および最終的にせん断破壊を生じさせることを目的とした。シリーズ2は、幅が30cm、高さが10cmの梁というよりスラブと称すべき部材で、D10鉄筋を4本断面对称に配置させて、曲げ引張破壊を生じさせることを目的とした。また、この梁の下面にφ13mmのスタッドジベルを6cmピッチで配置した200x100のH形鋼を結合させた合成梁についても試験を行った。

シリーズ1では、材令1日で脱型後材令8日まで $21\pm 1^\circ\text{C}$ の水中養生を行い、その後、材令116日まで温度が $21\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度が $50\pm 5\%$ RHの部屋で乾燥させた。また、シリーズ2では、材令14日まで $20\pm 2^\circ\text{C}$ の部屋で湿布養生を行った後、温度が $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度が $55\pm 5\%$ RHの恒温恒湿室で材令75日まで乾燥させ強度試験を行った。

コンクリートの配合を表-1に示す。シリーズ1では早強ポルトランドセメントを用い、単位膨張材量も多く使用している。膨張材はエトリンサイト系のものを用いた。

3. 膨張収縮性状

一軸拘束器具による膨張収縮率と材令の関係を図-3に示す。シリーズ2はJIS A6202のB法によるものであるが、シリーズ1は、ねじ転造したPC鋼材の両端には端板が無い拘束器具²⁾によるものである。したがって、測定の開始をシリーズ1では材令1日としている。

乾燥開始時を基準にとった相対乾燥収縮率が 300×10^{-6} 程度までの収縮性状は、シリーズ1および

表-1 コンクリートの配合

シリーズ名	セメントの種類	W/C+E (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					スラブ厚 (cm)
				C	E	W	S	G	
1	早強	38.5	36	450	0	173	636	1140	3.5
				382.5	67.5		633	1137	5.5
2	普通	50	40	330	0	165	755	1137	8.0
				280	50		754	1136	8.0

粗骨材の最大寸法: 25mm
膨張材E: エトリンサイト系
空気量: 1.5%と仮定

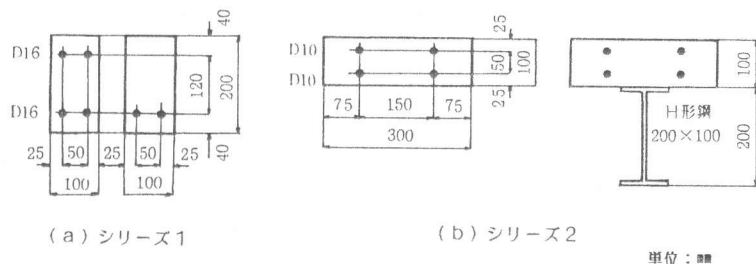


図-1 断面諸元

シリーズ2とも普通コンクリートと膨張コンクリートとではほとんど差が認められない。しかしながら、シリーズ1のように乾燥収縮率が大きくなると、膨張コンクリートの方が見掛け上乾燥収縮率が普通コンクリートより大きく測

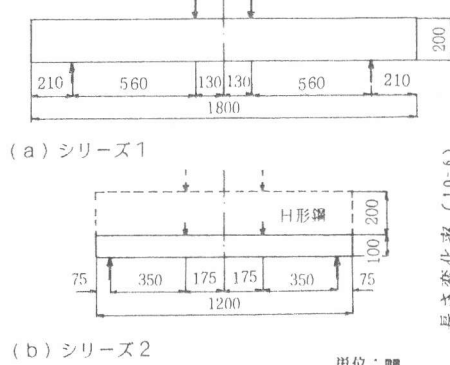


図-2 荷重方法

定される。これは、著者の1人が指摘したように³⁾、ある収縮率を越えるとPC鋼棒とコンクリートの付着で乾燥収縮を拘束するのに限界があるためと考えられる。

梁の引張鉄筋位置における膨張収縮性状を図-4に示す。膨張率は鉄筋に貼付したワイヤストレインゲージで、また、乾燥時の収縮率は、コンクリート側面の引張鉄筋位置の値をコンタクト型ひずみ計により求めた。

シリーズ2の湿布養生に示すように、膨張コンクリートを用いたCPC梁では、材令初期においてほとんど大半の膨張が生じ、その後の膨張量の増加はわずかであって、養生期間中はほぼ一定の値を示す。恒温恒湿室で乾燥させると、膨張コンクリートも収縮する。鉄筋量の少ないシリーズ2について乾燥収縮率を比較すると、CPC梁の方がRC梁に比べて小さいが、その差はわずかであって、膨張コンクリートの使用の有無にかかわらず両者は等しいと考えて差支えないと思われる。

鉄筋比が約4%と大きいシリーズ1の梁では、乾燥初期の材令1ヶ月程度まではシリーズ2と同様にCPCとRCはほぼ同じ収縮性状を示す。しかしながら、材令1ヶ月の相対乾燥収縮率が約 250×10^{-6} を超えると、RC梁は収縮量の増加がなくなり、逆に減少する傾向が認められる。これは、ひびわれが原因と考えられる。実際、材令40日に、コンクリート表面に亀甲状ではあるが梁軸方向に直角な方向に卓越した微小な収縮ひびわれの発生を目視で認めた。なお、CPC梁ではこのような現象は認められず乾燥収縮率は増加するが、それでも荷重試験時には約 100×10^{-6} の膨張ひずみを示していた。

4. 引張鉄筋のひずみとひびわれ幅

恒温恒湿室で108日間乾燥させた梁の外力モーメントと引張鉄筋のひずみの増加量との関係を図-5に示す。乾燥を受けない場合と同様に、RC梁に比べて、CPC梁は、曲げひびわれ発生荷重が増加すること、曲げひびわれ発生後の引張鉄筋のひずみの増加量が小さいこと、ならびに、除荷時における残留ひずみが小さいことが明らかである。特にRC梁では、先述のように乾燥に起因したひびわれが生じたこともあり、引張鉄筋のひずみは外力モーメントの初期の段階から全断面を有効とした計算値より大きくなっている。そして、曲げひびわれが発生すると、コンクリー

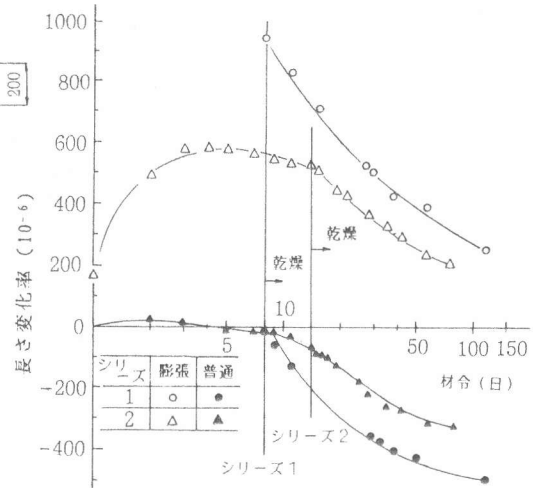


図-3 一軸拘束器具による膨張収縮性状

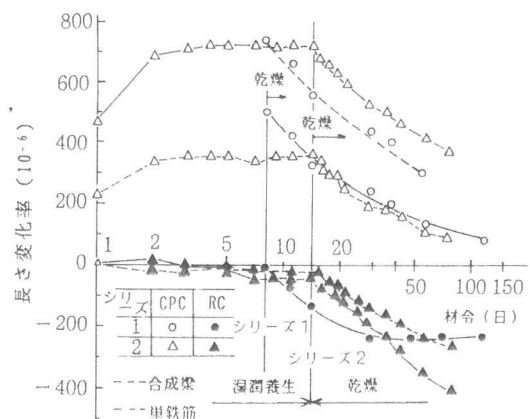


図-4 梁の長さ変化率

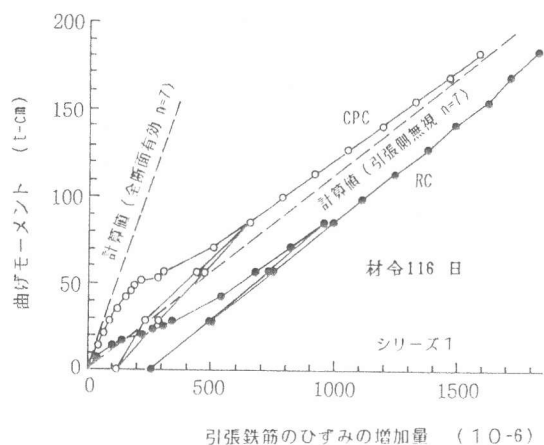


図-5 引張鉄筋のひずみの増加量

トの引張力を無視した計算値にほぼ平行に、乾燥で生じた収縮率に相当するひずみの分だけ大きな値を示している。

曲げひびわれ幅と外力モーメントの関係を図-6に示す。梁側面の引張鉄筋位置におけるひびわれのうち

最も大きい幅のもの大きいものから3個の平均値を示している。同じ曲げモーメントにおけるCPC梁の曲げひびわれ幅はRC梁より小さく、また、残留ひびわれ幅も小さくなっている。これは、図-5に示した引張鉄筋のひずみの増加量が小さいことに対応するもので、両者の関係をプロットしたのが図-7である。シリーズ2の鉄筋比が小さく、かぶりが大きい梁では、同じひずみの増加量に対してCPCの方がひびわれ幅が少し小さくなっているが、乾燥を受けた梁でもケミカルプレストレスの有無にかかわらず両者の間にほぼ直線関係が成立すること、および、断面の形状寸法、鉄筋の種類と配置が同じならば、この直線はCPC梁とRC梁では同じであると考えても差支えないことが認められる。

5. 曲げひびわれ発生モーメントとたわみ

引張側コンクリートの底面に貼付したワイヤストレインゲージのひずみの急変点より判定した曲げひびわれ発生モーメントから、ヤング係数比を7と仮定して換算断面を用いて弾性計算により求めた曲げひびわれ応力度を図-8に示す。CPC梁の曲げひびわれ応力度もRC梁と同様に乾燥により低下しているものの、RCと比較すると大きな値を示し、乾燥収縮を生じても材令初期に導入されたケミカルプレストレスにより曲げひびわれ発生モーメントが改善されていることは明瞭である。

曲げひびわれ発生モーメントおよび引張鉄筋のひずみの増加量に関するCPC梁の特性から、図-9にシリーズ2のスパン中央位置における例で示されるように、乾燥を受けた梁のたわみもRC梁に比べて小さくなる。

6. 破壊荷重

シリーズ2の梁は、まず、下段の引張鉄筋が降伏した後中立軸が急上昇して、上段の鉄筋も引張力を分担するようになり、最終的にコンクリートが圧壊する曲げ引張破壊を生じた。破壊モーメントは、CPCとRC梁とも65.6 t-cmとなり、膨張作用によりコンクリートの強度が著しく低下しないかぎり、曲げ引張破壊モーメントはケミカルプレストレスの有無に影響されないことが確かめられた。

シリーズ1の梁は最終的にせん断圧縮破壊を生じた。せん断スパンに生じた曲げひびわれが発達して斜めひびわれが発生するときのせん断応力度 τ_c と破壊時のせん断応力度 τ_u をそれぞれプロットしたのが図-10である。 τ_c に比べて τ_u のばらつきは大きい、RC梁では乾燥を受けても τ_c および τ_u には

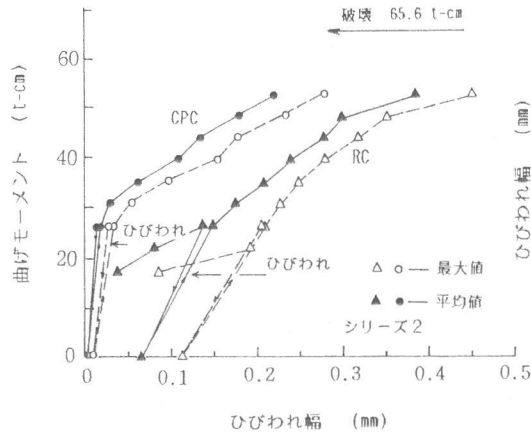


図-6 曲げひびわれ幅

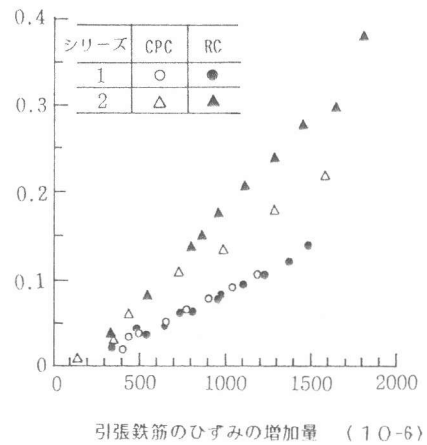


図-7 ひびわれ幅と鉄筋のひずみの増加量との関係

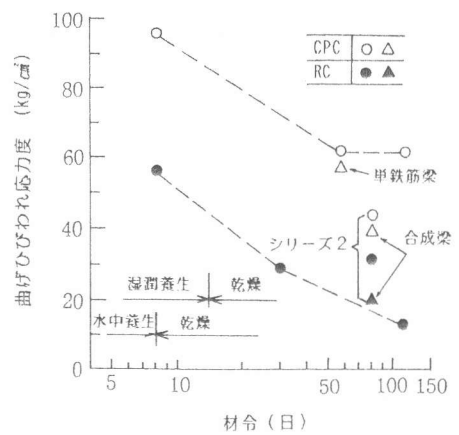


図-8 曲げひびわれ応力度

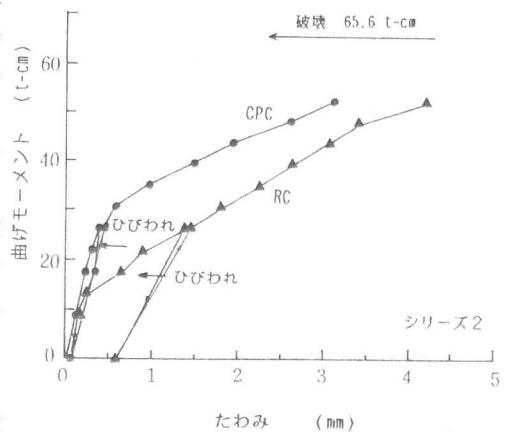


図-9 スパン中央部のたわみ

ほとんど変化のないこと⁴⁾が認められた。

CPC梁もRC梁と同様に乾燥を受けても斜めひびわれ発生荷重にはほとんど変化がなく、ケミカルプレストレスの導入による改善効果が存続している。

材令50日程度までは、せん断圧縮破壊荷重についてもケミカルプレストレスの効果が認められるが、材令116日になるとCPC梁の τ_u はRC梁とほぼ等しい値になった。この点については今後研究を進めたい。

7. 断面非対称に鉄筋あるいは鋼材を配置した梁

圧縮鉄筋の無い単鉄筋のCPC梁では、図-4に示すように、材令8日における引張鉄筋の膨張ひずみが約40%大きくなった。また、圧縮縁の膨張率は約 4500×10^{-6} と著しく大きくなった。そのため図-11に示すように、コンクリートの圧縮縁のひずみが複鉄筋梁に比べて大きく、また、 τ_u も約20%低下した。

なお、曲げひびわれ応力度と曲げひびわれ幅は、複鉄筋梁とほぼ等しい性状を示した。鋼材を図-1のように配置すると、この拘束により膨張率と乾燥収縮率はそれぞれ小さくなる(図-4参照)。この合成梁をコンクリート部を引張側にして荷重試験を行ったところ、図-8に示すように、曲げひびわれ応力度がケミカルプレストレスにほぼ相当する分だけRC合成梁に比べて大きくなった。CPC合成梁のひびわれ発生荷重の約2倍の荷重が載荷した時の、断面内のひずみ分布を図-12に示す。RC合成梁は、この荷重段階でコンクリートの引張力を無視した計算値に近い分布を示している。CPC合成梁は、全断面有効とした計算値よりは大きなひずみを示しているが、RCに比べて引張鉄筋のひずみおよび、ひずみ勾配は小さいことが認められ、曲げひびわれ幅とたわみが減少することになる。

8. 結論

断面の形状寸法、鉄筋の配置方法および乾燥期間を変化させたケミカルプレストレスコンクリート(CPC)梁の曲げ荷重試験の結果を報告した。乾燥を受けるとCPC梁の曲げひびわれ発生モーメント、曲げひびわれ幅およびたわみの特性は、RC梁と同様に低下するが、材令初期に導入したケミカルプレストレスに相当する分だけRC梁に比べて曲げ特性が向上していることが認められた。

本研究のうち、シリーズ1の実験は辻が東京大学大学院在学中に、國分正胤、岡村 甫両先生の御指導の下に実施したものである。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岡村 甫, 辻 幸和; ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の力学的特性, 土木学会論文報告集, 第225号, 1974年5月.
- 2) 國分, 小林, 長滝, 岡村, 町田; 膨張性セメント混和材を用いたコンクリートの標準試験方法に関する研究, 土木学会論文報告集, 第225号, 1974年5月.
- 3) 辻, 佐藤; 一軸拘束試験方法による膨張コンクリートの乾燥収縮性状, セメント技術年報 37, 1983年.
- 4) 檜貝勇; 軽量鉄筋コンクリート桁のせん断強度について, コンクリートライブラリー, 第24号, 1969年.

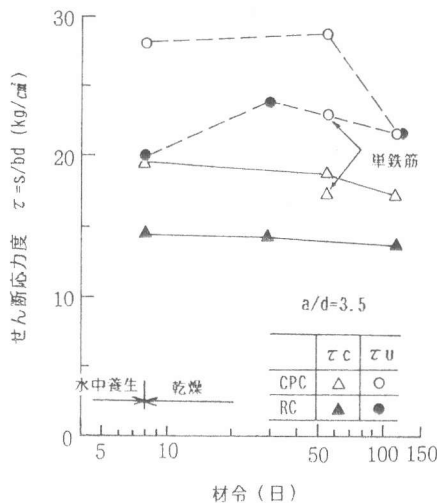


図-10 せん断耐力

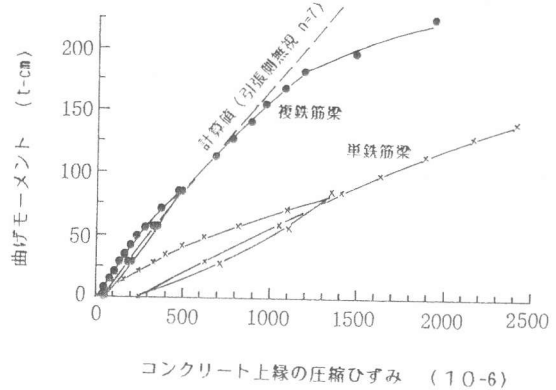


図-11 単鉄筋のコンクリートの圧縮ひずみ

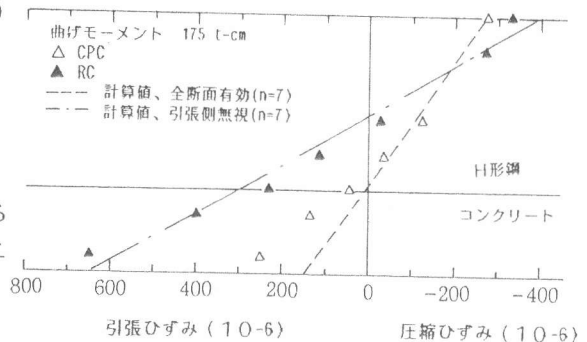


図-12 断面内における合成梁のひずみ分布