

論文

[2008] 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

正会員 辻 幸和 (群馬大学 工学部)
 正会員 ○岩井 稔 (群馬大学 大学院)
 正会員 丸山 久一 (長岡技術科学大学工学部)

1. まえがき

膨張コンクリートを用いて、鉄筋コンクリート部材にケミカルプレストレスを導入して、その曲げ性状を向上させる試みに関しては、これまでも多くの貴重な研究成果が報告されており、また、ヒューム管やボックスカルバート等の工場製品に実用化されて久しい。このような曲げ性状の向上は、機械的プレストレスの導入によっても可能であり、いわゆるPRC構造が土木建造物にも再び実用され始めている。しかしながら、両プレストレスを組合わせた構造型式については、これまでほとんど検討されていない。

本研究では、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鉄筋コンクリート (RC) はりの曲げ強度試験を行い、はりの曲げ性状に及ぼす両プレストレスの複合効果を実験的に検討するものである。

2. 実験の概要

用いたはりは図-1に示す矩形断面とT形断面であり、それぞれ鉄筋およびPC鋼棒の配置は一定とした。はり供試体の曲げ強度試験は、図-2に示すように、最大曲げモーメントの一定区間が17cmの2点集中荷重によって行った。試験では、鉄筋、PC鋼棒およびコンクリートのひずみ、たわみならびに曲げひびわれ幅などを測定した。曲げひびわれ幅は、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5cmの間隔で50cm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測定することにより求めた。はり供試体の養生は、実験室内 (平均気温15℃) で材令14日まで水中養生を行い、その後は室内に放置した。材令21日に機械的プレストレスを導入し、直ちにグラウトを行って、材令28日に曲げ強度試験を行った。機械的プレストレスの導入は、PC鋼棒

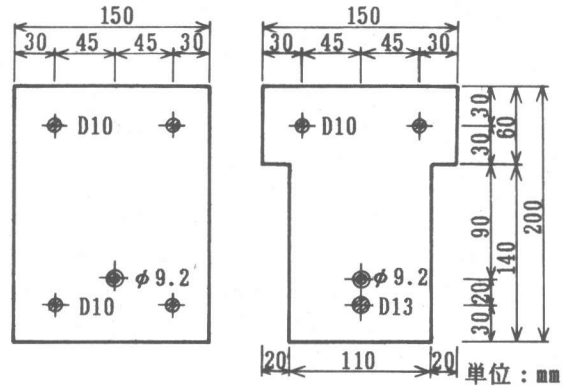


図-1 断面諸元

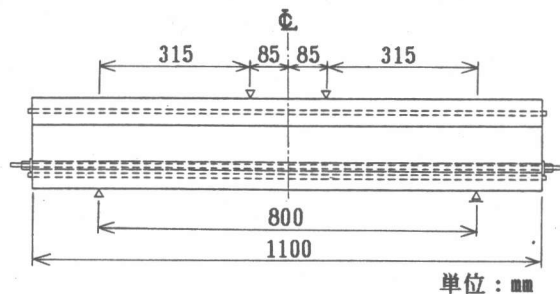


図-2 はりの載荷方法

の緊張ひずみに直して1000, 3000, 5000 $\times 10^{-6}$ の3水準に変化させて行った。

コンクリートの配合は、水結合材比が50%，単位結合材量が330kg/m³，細骨材率が38%，スランプが3~5cm，空気量が1.5~2.0%の一定とした。結合材のうち、エトリンガイト系の膨張材を単位量（E）で最大50kg/m³までセメントと置き換えて用い、膨張コンクリートを造った。そして、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として、その範囲内で膨張エネルギーの及ぼす影響を検討した。

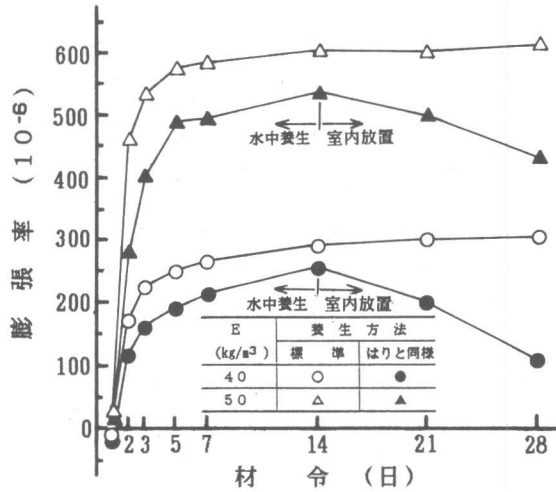


図-3 A法一軸拘束膨張率の経時変化

3. ケミカルプレストレスングと

コンクリートの圧縮強度

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の経時変化を、図-3に示す。1バッチ3本の拘束器具による2バッチ分を平均したものである。なお、バッチ間では最大で 30×10^{-6} 程度の膨張率の差が生じた。はり供試体と同じ養生を行った場合と標準養生を行った場合について示しているが、単位膨張材量（E）が40kg/m³と50kg/m³のいずれも、材令7日までに大半の膨張が生じている。

標準養生を行った場合と比較すると、はり供試体と同じ水中養生を行った場合のA法による一軸拘束膨張率は、水温が平均で15℃と低かったためか、材令14日において約15%程度小さくなった。そして、材令14日以降は室内に放置したため、乾燥収縮が生じている。

室内での水中養生を材令14日まで行ったとき、はりに生じた引張鉄筋のひずみとコンクリー

表-1 試験結果の一覧

緊張レベル (10 ⁻⁶)	単位膨張材量 (kg/m ³)	A法による拘束膨張率* (10 ⁻⁶)	膨張による引張鉄筋のひずみ* (10 ⁻⁶)	PC鋼材の緊張ひずみ (10 ⁻⁶)	曲げひびわれ発生モーメント (tf-m)	コンクリート下縁の応力度 (kgf/cm ²)			破壊モーメント (tf-m)	破壊モーメントの計算値 (tf-m)	
						曲げひびわれ	ケミカルプレストレス*	機械的プレストレス			
T形断面	1000	0	-	100.0	0.32	34.6	0.0	14.6	2.24	2.08	
		40	270	242	960	0.47	52.0	6.0	14.1	2.30	2.06
		50	530	475	900	0.44	48.5	11.7	13.2	2.13	2.05
	3000	0	-	-	3840	0.72	79.7	0.0	56.2	2.39	2.08
		40	240	215	3710	0.79	86.6	5.3	54.3	2.44	2.08
		50	530	475	3630	0.79	86.6	11.7	53.1	2.44	2.05
5000	0	-	-	5530	0.88	97.0	0.0	81.0	2.46	2.06	
	40	270	242	5490	0.95	103.9	6.0	80.4	2.56	2.06	
	50	550	493	5410	0.95	103.9	12.1	79.2	2.41	2.06	
矩形断面	1000	0	-	-	950	0.47	47.3	0.0	10.3	2.46	2.28
		50	530	529	920	0.57	56.7	10.3	9.9	2.44	2.25
		40	240	240	3710	0.82	81.9	4.7	40.1	2.66	2.27
	3000	0	-	-	5670	0.92	91.4	0.0	61.3	2.69	2.27
		50	550	549	5410	0.95	94.5	10.7	58.5	2.66	2.25

* 材令14日における値

ト下縁のケミカルプレストレスを表-1にまとめて示す。材令14日後、機械的プレストレスの導入、グラウトの注入などを行い載荷試験まで室内に放置した間の乾燥収縮率は、膨張材の使用の有無にかかわらず約 100×10^{-6} とほぼ等しいため、上記の値がケミカルプレストレスの効果と考えられる。T形断面と矩形断面で異なるが、コンクリート下縁に導入されるケミカルプレストレスは、単位膨張材量 (E) が 40 kg/m^3 の場合で約 6 kgf/cm^2 、 50 kg/m^3 の場合で約 12 kgf/cm^2 、引張鉄筋に生じる引張ひずみは、Eが 40 kg/m^3 の場合で約 250×10^{-6} 、 50 kg/m^3 の場合で約 500×10^{-6} であった。

はり供試体と同じ養生を行った直径が10cm、高さが20cmの円柱供試体による圧縮強度は、はり載荷試験時に、Eが 0 kg/m^3 の場合で 505 kgf/cm^2 、Eが 40 kg/m^3 の場合で 503 kgf/cm^2 、Eが 50 kg/m^3 の場合で 461 kgf/cm^2 であった。自由膨張させたEが 50 kg/m^3 の膨張コンクリートにつき、膨張材の使用により約10%の強度低下を生じた。

4. 曲げひびわれ発生耐力

曲げひびわれ発生耐力も表-1に示す。曲げひびわれの発生は、はり供試体の底面に貼付したワイヤストレインゲージによる引張ひずみの急変点で判定した。総断面を用いて弾性計算により求めた下縁の応力度を曲げひびわれ応力度として示している。

PC鋼棒の緊張レベルが大きくなると、曲げひびわれ発生応力度は大きくなる。また、機械的プレストレスが大きくなると明瞭な差が認められなくなるが、曲げひびわれ発生耐力は、膨

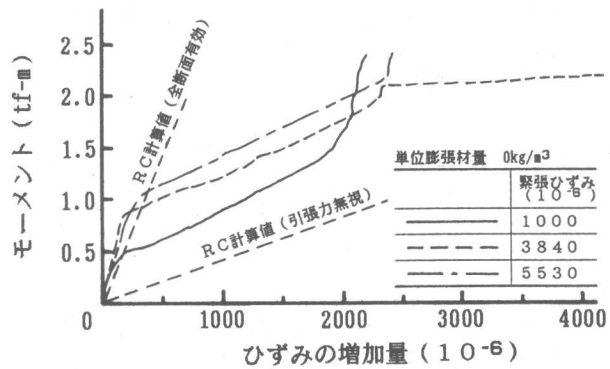


図-4 引張鉄筋のひずみの増加量

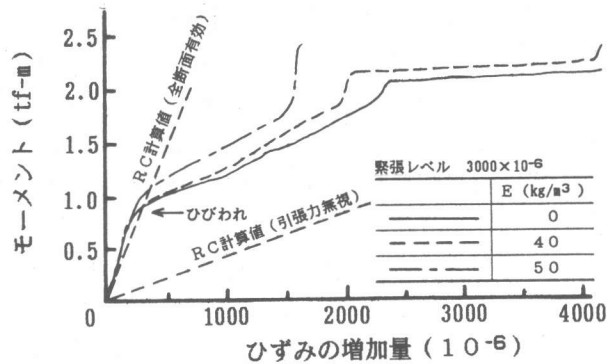


図-5 引張鉄筋のひずみの増加量 (Eを変化)

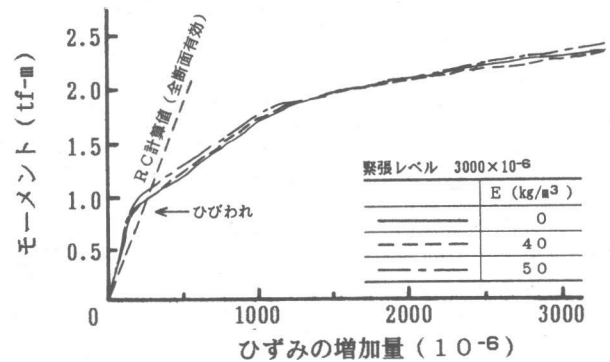


図-6 PC鋼棒のひずみの増加量

張材の使用により増加している。しかしながら、単位膨張材量（E）を 40kg/m^3 から 50kg/m^3 に増加して、T形断面で約 6.0kgf/cm^2 から 12.0kgf/cm^2 に 6.0kgf/cm^2 とケミカルプレストレスを導入した効果はほとんど認められなかった。なお、PC鋼材の緊張ひずみは、単位膨張材量（E）を 40kg/m^3 および 50kg/m^3 と増加させた場合、ケミカルプレストレスの効果を見込んでそれぞれ約 50×10^{-6} 減少している。

5. 補強鋼材のひずみ

荷重の増加に伴う引張鉄筋のひずみの変化を、図-4および図-5に示す。曲げひびわれが発生するまでは、PC鋼棒の緊張レベルおよび膨張材の使用による影響はほとんど認められず、ほぼ等しいひずみ変化を示し、全断面を有効としたRCの計算値より少し小さい値をそれぞれ示している。

曲げひびわれ発生モーメントは、上述のように、機械的プレストレスおよびケミカルプレストレスに対応して一般に大きくなる。そして、曲げひびわれ発生後は、断面に生じる大半の引張力を引張鉄筋とPC鋼材が分担して受けもつため、これらのひずみの増加が著しくなる。

図-5は、PC鋼棒の緊張レベルが 3000×10^{-6} の場合の引張鉄筋のひずみである。曲げひびわれ発生後の同一の外力モーメントに対する引張鉄筋のひずみは、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。これは、膨張材の使用により、引張鉄筋があらかじめ表-1に示したような引張ひずみを生じたことによるもので、引張ひずみはその後の機械的プレストレスにより少し減少するが、強度試験時においても存続していることを示すものである。

PC鋼棒のひずみについても図-6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、ケミカルプレストレスの効果により小さくなっていることが認められる。

図-4および図-5の横軸に示したような引張鉄筋のひずみの増加量が 1000×10^{-6} となる時の荷重による外力モーメントを、PC鋼材の緊張ひずみと関連させてそれぞれプロットしたのが図-7である。単位膨張材量（E）を 40kg/m^3 用いた場合には、いずれのPC鋼棒の緊張レベルにおいても、ケミカルプレストレスの効果が明瞭で、所定の引張鉄筋のひずみを与える外力モーメントの増加が認められる。しかしながら、Eを 50kg/m^3 に増加した場合には、PC鋼棒の緊張ひずみが 3000×10^{-6} の場合を除き、 40kg/m^3 の場合とほぼ等しい効果しか認められなかった。このことは、曲げひびわれ発生モーメントについても同様であり、その原因については、今後研究を進めてみたい。

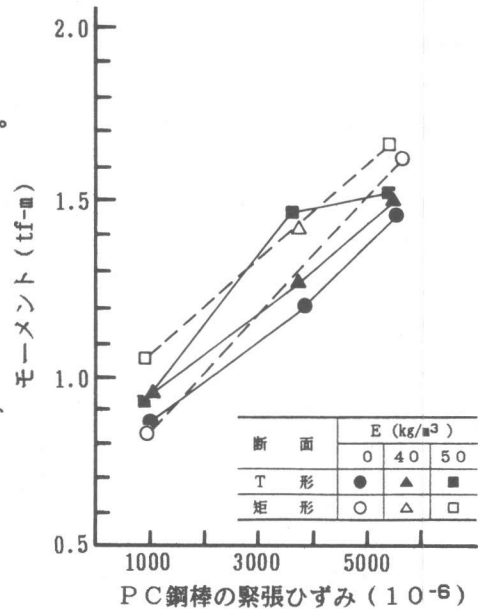


図-7 所定の引張ひずみの増加分に対応する外力モーメント

6. 曲げひびわれ幅

曲げひびわれ幅とモーメントとの関係を図-8および図-9に示す。曲げひびわれ幅は、PC鋼棒の緊張レベルが 1000×10^{-6} において3本の、 3000×10^{-6} および 5000×10^{-6} 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鋼棒の緊張レベルが大きくなると、いずれの荷重レベルにおいても曲げひびわれ幅が小さくなる。また、PC鋼棒の緊張レベルが 3000×10^{-6} クラスまでは、膨張材の使用量が 50 kg/m^3 まで多いほど、曲げひびわれ幅が小さくなり、曲げひびわれ発生耐力の場合のように膨張材の使用量に限界のあることが認められない。しかしながら、緊張レベルが 5000×10^{-6} クラスになると、ケミカルプレストレスの効果が小さくなるとともに、曲げひびわれ発生耐力および補強鋼材のひずみ同様に、単位膨張材量を 40 kg/m^3 から 50 kg/m^3 に増加しても、その効果が認められなかった。

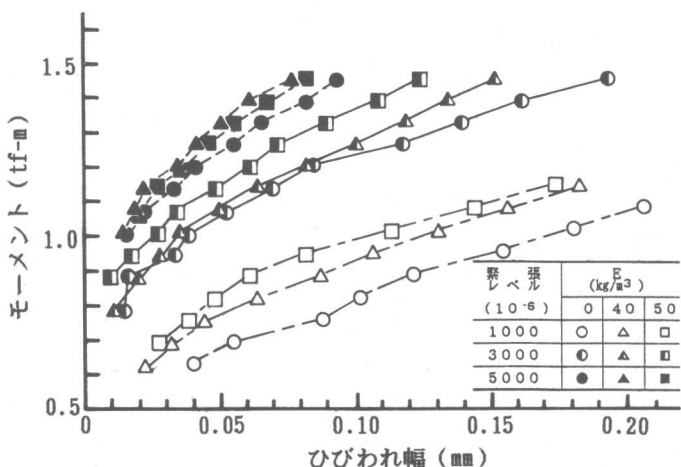


図-8 曲げひびわれ幅 (T形断面)

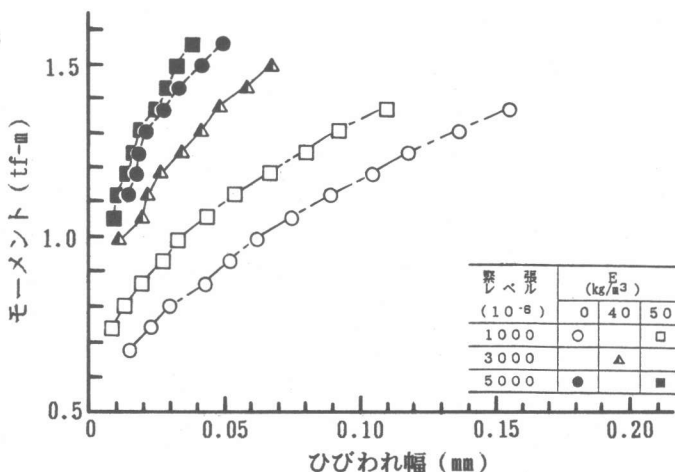


図-9 曲げひびわれ幅 (矩形断面)

7. たわみ

曲げひびわれ発生耐力、補強鋼材のひずみおよび曲げひびわれ幅に関するケミカルプレストレスと機械的プレストレスの効果から、はりのたわみも両プレストレスの導入により軽減することが期待できる。図-10は、スパンに対するたわみが $0.75/1000$ のたわみが 0.6 mm となるときの外力モーメントを、PC鋼棒の緊張ひずみを横軸にとってプロットしたものである。たわみは機械的プレストレスの導入により小さくなるとともに、膨張材の使用量が多いほど小さくなることも確かめられた。

8. 破壊モーメント

大部分のはり供試体は斜めひびわれが発生したが、最終的にはすべてのはりには曲げ破壊を生じた。その曲げ破壊モーメントの実験値と計算値を表-1に示す。計算値は、引張鉄筋が降伏し、PC鋼棒の応力度も耐力に達すると仮定して求めた。

計算値の方が実測値に比べて10%程度小さい値となっている。計算では、PC鋼棒の緊張レベルは破壊モーメントに影響を及ぼさないが、破壊モーメントの実測値は、PC鋼棒の緊張レベル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 50kg/m^3 まで使用しても、破壊モーメントは膨張材を用いないはりと等しいことも確かめられた。

9. 結論

鉄筋コンクリートはり(RCはり)において、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機械的プレストレスの効果を組合せた複合効果を確認するため、T形断面と矩形断面のはりについて実験的に検討した。本実験の範囲内で、次のことがいえると思われる。

①膨張によるコンクリートの品質低下の少ない単位膨張材量を 40kg/m^3 程度用いてケミカルプレストレスを導入したRCはりでは、PC鋼材の緊張レベルが低レベルから高レベルまで、補強鋼材の外力モーメントによるひずみは減少し、機械的プレストレスだけでなく、膨張材の使用効果が保持されていることが確認できた。

②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に関しても、①と同様に、ケミカル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。

③単位膨張材量を 50kg/m^3 まで増加した場合にも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普通コンクリートに比べて約10%低下したためか、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。

謝辞

本研究の実施に対しては、細川克彦(新潟県庁)と小川広幸(大都工業)の各氏にご援助を頂いた。

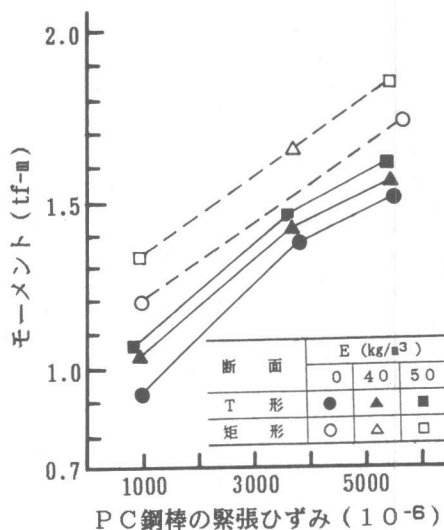


図-10 所定のたわみ量に対応する外力モーメント