

論文

[1197] 温度ひびわれを有する RC 部材の鉄筋応力度とひびわれの挙動

正会員 佐藤良一（宇都宮大学建設学科）

正会員 氏家 熱（宇都宮大学建設学科）

正会員○木村方哉（宇都宮大学建設学科）

伊藤 尚（宇都宮大学建設学科）

1. まえがき

層状に打設される大断面の鉄筋コンクリート構造物や内巻きをして仮設構造物を本体の構造物として利用するような大断面の構造物では、水和熱による温度応力を受けた後に外荷重を受けることになるが、この温度応力あるいは温度ひびわれの影響が設計上取り扱われることはほとんどないように思われる。これは、温度ひびわれの影響度が不明確であること、温度応力は自己制限的な応力でひびわれの分散と共に減少すると考えられていること、終局曲げ破壊時の変形に比べ温度による変形が小さくその影響は無視し得ると考えられていることなどによると思われる。

このようなことから、著者らは温度ひびわれを有するRC部材の力学性状を実験的に検討した[1]。その結果、ひびわれ幅は、土木学会による式による値と比べて最大でおよそ40%大きく、温度応力の影響が無視し得ない可能性のあることを示したが、拘束体のひびわれ発生後の鉄筋応力度などについては必ずしも明確な影響を把握するには至らなかった。

そこで、本研究は、鉄筋応力度とひびわれ幅の把握に特に力点をおき、また温度応力を受けない同一条件を有する部材の載荷実験も行って、RC部材の力学性状に及ぼす温度ひびわれの影響を検討したものである。

2. 実験の方法

2.1 使用材料

1層

表-1 コンクリートの力学的性質

目的拘束体にはレデミクストコンクリートを、	強度試験時の条件	力学的性質 (kgf/cm ²)		
		圧縮強度	引張強度	弾性係数
被拘束体	標準養生(材令28日)	618	44.8	37.8×10 ⁴
	載荷試験時(材令18日)温度部材	472	38.8	30.9×10 ⁴
	載荷試験時(材令21日)常温部材	540	40.1	33.3×10 ⁴
拘束体	標準養生(材令28日)	496	36.4	32.1×10 ⁴
	被拘束体打設時(材令17日)	459	28.7	30.5×10 ⁴
	載荷試験時(材令35日)温度部材	509	39.6	30.6×10 ⁴
	載荷試験時(材令38日)常温部材	502	37.9	29.3×10 ⁴

2層目の被拘束体には室内混合したコンクリートを用い、それらの粗骨材最大寸法、水セメント比、単位セメント量はともに20mm、42.3%、380kg/m³である。これらに用いたコンクリートの力学的性質は、表-1に示すとおりである。

用いた鉄筋は、SD295D16およびSD295D13であり、それらの実測弾性係数および降伏点応力は20.5×10⁴、193×10⁴、3533,3575（単位はいずれもkgf/cm²）である。また、スターラップおよび拘束体の圧縮鉄筋にはSD295D10を用いた。

2.2 供試体の作製

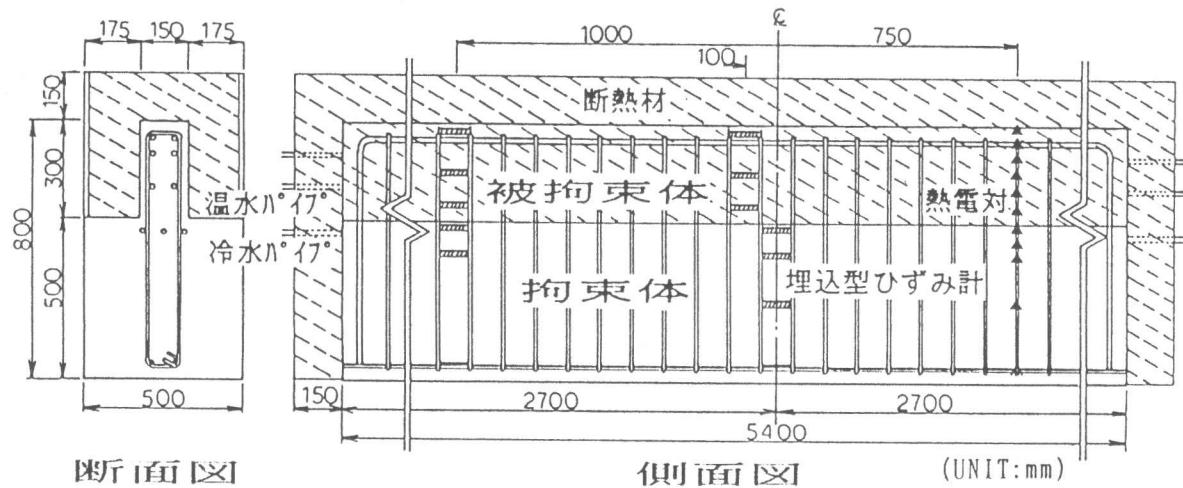


図-1 供試体の諸元、配筋および温度ひびわれ実験方法

本研究に用いた供試体の数は2

体で、いずれも2層に分けてコンクリートを打設して作製した。1体は後述の方法で温度ひびわれを発生させた後載荷実験に供したものである。他の1体はメタルフォームを用いた通常の方法で作製し、載荷実験に供した。これら2体の試験体は温度履歴のみが異なるので、荷重による力学挙動を比較することによって、温度応力の影響を把握することが可能となる。拘束体となる1層目および被拘束体となる2層目のブロックの寸法は、

図-1に示すように、 $15 \times 30 \times 540\text{cm}$ 、 $50 \times 50 \times 540\text{cm}$ である。被拘束体をウェブ、拘束体をフランジとし、これを一体化すれば引張部が温度応力を受けたT型ばかりとなる。

被拘束体の鉄筋比は0.96%である。この場合、T型ばかりとしての引張鉄筋比は0.115%となる。

被拘束体と拘束体との一体性は、スターラップを10cmピッチで配筋することおよび拘束体の被拘束体との打継面を遅延剤を用いてグリーンカットすることにより確保した。

2.3 温度ひびわれ実験および計測方法

実構造物に即した温度履歴を与えるために、図-1に示すように被拘束体の4箇所にパイプを配置し、ここに温度コントロールした温水をコンクリート打設直後から注水し、さらに型枠に厚さ15cmの発泡ポリスチレンフォームを用いて断熱した。一方、拘束体にはパイプを3本配置し、これに10°Cに温度コントロールした水を循環させることにより極力熱移動しないように配慮した。

計測は温度、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみおよびひびわれ幅について行った。それぞれの測定位置は図-1と図-2に示すとおりである。鉄筋ひずみの計測には温度補償型のひずみゲージを用いたが同一ロットのゲージをダミーゲージとして鉄筋と同じ高さの位置に埋設し、その実測ひずみを実測鉄筋ひずみから差し引くことにより鉄筋の応力ひずみを求めた。鉄筋ひずみは支

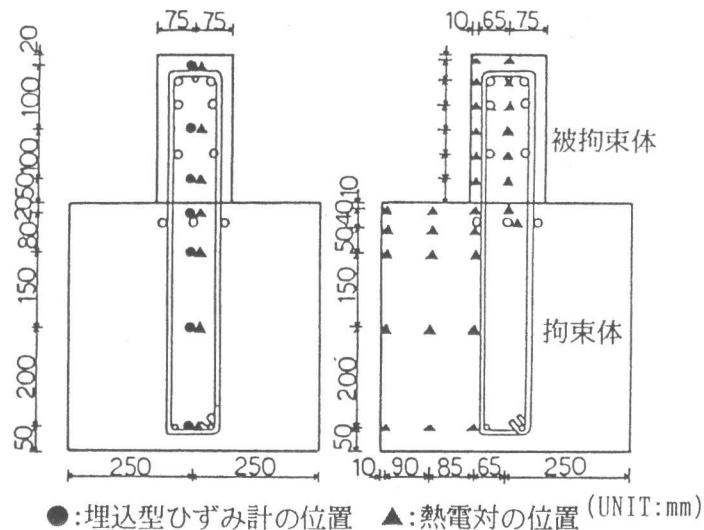


図-2 断面の温度、ひずみの測定位置

配的なひびわれ断面の鉄筋応力を捕捉するため、両側の縦リブの位置に幅4mm、深さ3mmの溝を切削し、図-3に示す位置で計測した。

鉄筋ひずみと対応させてひびわれ幅を測定するため鉄筋ひずみを測定した中央断面に予めスリットを入れひびわれを誘発し、この位置で標点距離2cm、6cm、10cmのコンタクトチップをひびわれ発生前に貼付し、コンタクトゲージを用いてひびわれ幅を測定した。

ひびわれ幅は軸方向の中央断面では鉄筋位置、中央高さ位置、境界面から5cmで、また中央断面から75cmの断面から端部に向かって50cmの範囲の鉄筋位置で標点距離10cmとして測定した。

2.4 載荷実験および計測方法

載荷実験は図-4に示す方法で行った。計測項目は鉄筋ひずみ、コンクリートひずみ、ひびわれ幅、たわみ量である。

載荷実験のための移動の際に、自重によって生じる変形やひずみは載荷実験の結果を外挿して求めた。

ひびわれ幅は標点距離10cmのパイ型変位計により測定した。したがって、セッティング後パイ型変位計の初期値がコンタクトゲージで計測したひびわれ幅に等しいとしている。

たわみ量は精度1/200mm、最大変位量50mmの高感度型変位計により測定した。

荷重は概ね0.5tfおきに載荷し、その都度上記の項目について測定した。

3. 実験結果とその考察

セメントの水和熱と温度制御された温水を注水することにより得られた鉄筋位置での実測温度履歴を図-5に示す。鉄筋位置での最大温度上昇量は47.4℃、最大温度降下量は55.9℃であった。

図-6は中央断面付近の実測温度および実測ひずみを用いて求めた応力と2次元FEM解析[2]により求めた応力を示したものである。ただし、実測ひずみは打設後6時間を初期値とし、コンクリートの有効弾性係数および引張強度は土木学会の平成3年度版の標準示方書に従って求めた。また、コンクリートの線膨張係数は $10 \times 10^{-6}/\text{°C}$ とした。実測ひずみに基づく応力は4日付近で増加率が鈍化しているが、これはひびわれが生じたためである。FEM解析より得られる応力と図-6で用いた引張強度より求めた温度ひびわれ指数は1.17であった。また、ひびわれ発生前の材令3日での断面高さ方向の温度変化ひずみと応力ひずみの関係から求めた拘束度の分布を示せば図-7のようで、実測値と計算値はよく一致した。拘束度の評価方法は、実験値については温度変化ひずみの変化量に対する応力

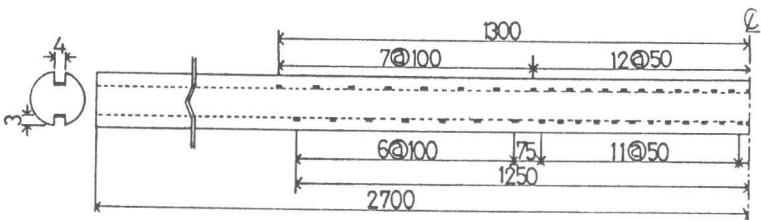


図-3 鉄筋ひずみの測定位置

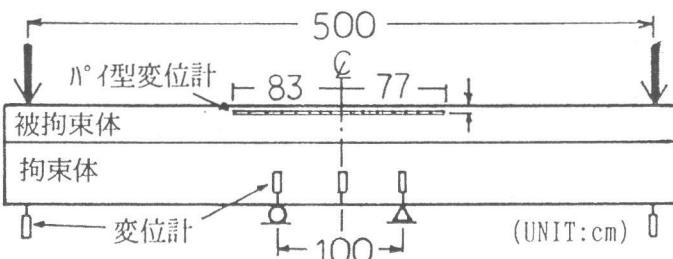


図-4 載荷実験方法

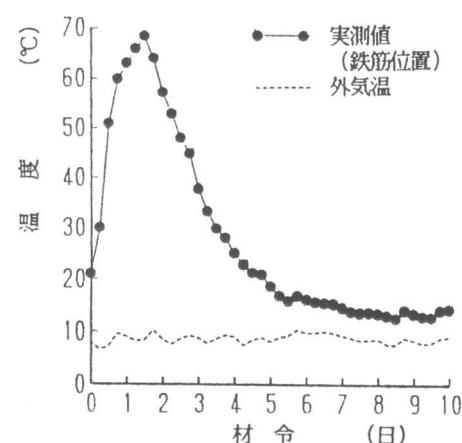


図-5 鉄筋位置の温度の経時変化

ひずみの
変化量を
材令日1.
5から5日
までの2時
間おきの
実験値を
回帰計算
して求め
た。F E
M計算値
について

は材令2.
5日から3
日までの
温度変化
ひずみの
変化量と、
応力の変
化量を平
均弾性係
数(材令
2.5日と材
令3日の彈
性係数の平均値)で除して求めたひずみの変化量より求めた。

図-8は鉄筋の応力ひずみの性状を示したものである。鉄筋応力度は、安定温度におおむね達し、中央断面からほぼ75cmの位置にひびわれが新たに発生した材令5日付近で応力度がほぼピークの600kgf/cm²に達している。

図-9はコンタクトチップを取り付けた材令1.5日を基準とした場合の鉄筋位置の側面におけるひびわれ幅の経時変化を示したものである。この図に示されているように、測定の標点間距離を2、6、10cmの3種類としている。これは、長期の曲げひびわれ幅の評価の際、土木学会の標準示方書において、乾燥収縮の影響、すなわちコンクリートの変形が取り扱われているごとく、温度ひびわれ幅においてもコンクリートの変形が無視し得ない場合があるかも知れないという考えに基づくものである。この図に示されているように、ひびわれ幅は標点間距離が小さくなるに従って大きくなる傾向があり、最大で約0.075mmのひびわれ幅を示した2cmの場合に対する比は6cmの場合0.78、10cmの場合0.58である。この結果は、前述したごとく、鉄筋応力度が同一であっても、コンクリートに無視し得ない体積変化がある場合には、その影響を考慮する必要のあることと共に測定方法によってもひびわれ幅は異なることがあることを意味していると考えられる。

次に、図-10は温度履歴を受けた部材(以下温度部材)の引張鉄筋降伏時のひびわれ発生状況を、温度履歴を受けない部材(以下常温部材)のそれと比較して示したものである。ひびわれ

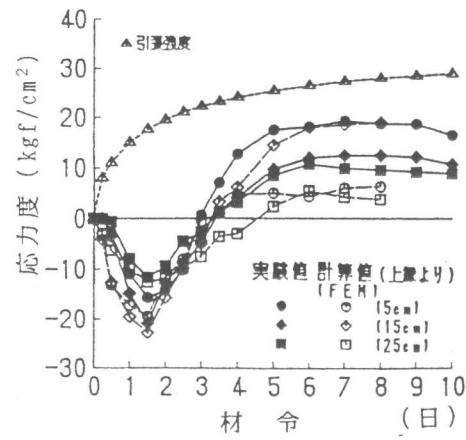


図-6 コンクリート応力の経時変化

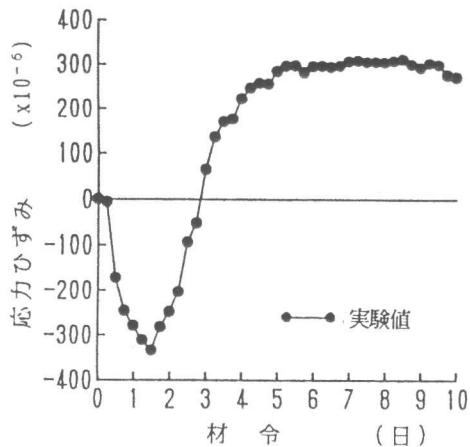


図-8 鉄筋の応力ひずみの経時変化

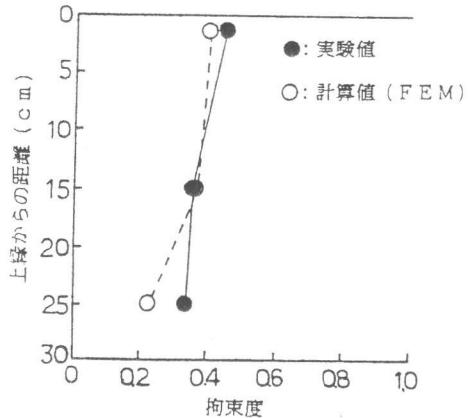


図-7 被拘束体高さ方向の拘束度の分布

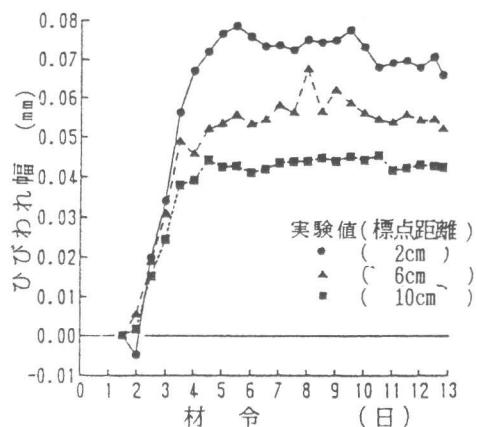


図-9 鉄筋位置でのひびわれ幅の経時変化

は温度応力により、スリットをいたした中央断面とそれから75cmの断面に計2本生じた。荷重によって生じたひびわれは8本で、その平均ひびわれ間隔は17.2cm、最大ひびわれ間隔は21.5cmと土木学会の式による値14.1cmの約1.5倍大きかった。一方、常温部材ではひびわれは8本生じ、その平均ひびわれ間隔は19.0cm、最大ひびわれ間隔は26.0cmであった。このように、温度履歴を受けた場合には、それによる応力によって、図-10にも示されているようにひびわれ発生荷重が小さく、またひびわれ間隔も小さくなる。

このようなひびわれ分散性状を有する部材のひびわれ幅の特性を示したのが図-11である。温

度部材は各

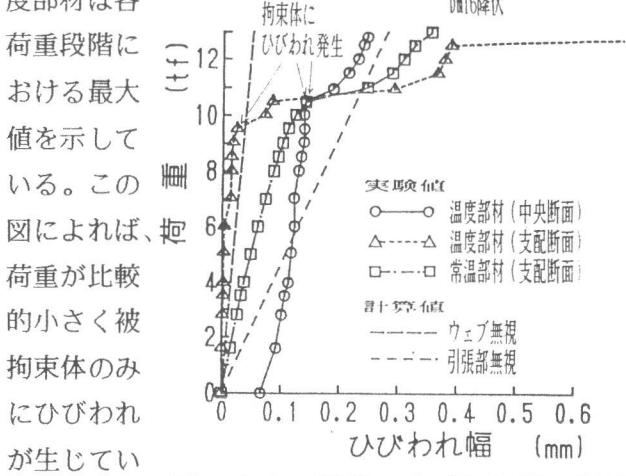


図-11 荷重-ひびわれ幅の関係

明らかに温度ひびわれの影響が認められる。温度部材の支配断面は荷重の増大と共に変わりまたひびわれ間隔が小さいにも拘らず、拘束体にひびわれが生じた後においてもひびわれ幅は常温部材のそれより、例えば11.5tfでは27%大きく、明らかに温度応力がひびわれ幅に無視し得ない影響を及ぼしている。

図-12は鉄筋応力度に及ぼす温度応力の影響を調べたものである。鉄筋応力度は、荷重の小さい段階では、温度の影響により通常のRC理論値より大きな値を示す。しかし、拘束体にひびわれが発生した後では常温部材の鉄筋応力度とほぼ等しく温度応力の影響は認められなかった。これは、支配断面が変わったことおよび被拘束体に対する鉄筋比が大きくひびわれが分散したことによると考えられる。そこで、図-13には、鉄筋応力度の観点からみたひびわれ幅の特性を示す。この図からわかるように、使用状態も含め同一鉄筋応力度であっても、温度応力を受けた場合のひびわれ幅は大きく、常温部材の1.3倍程度になることがある。このことからも温度変化に起因するコンクリートの体積変化がひびわれ幅に無視し得ない影響を及ぼすことがわかる。

図-14はRC部材のたわみについて実測値と土木学会の有効断面2次モーメントおよび引張部コンクリートを無視した断面2次モーメントを用いて求めた計算値を比較して示したものである。コンクリートの引張強度は載荷時の値38.8kgf/cm²を用いている。常温部材の降伏時の荷重は

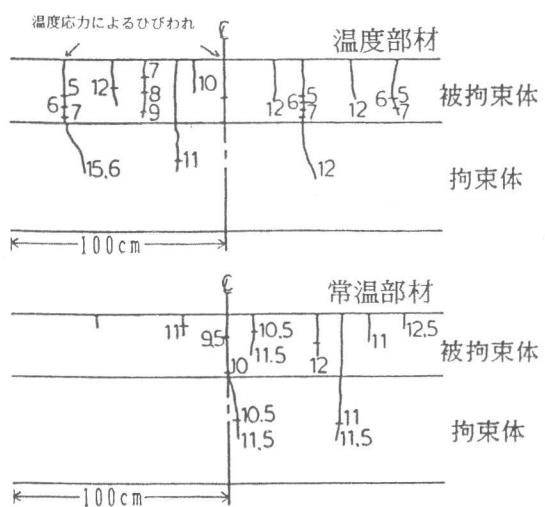


図-10 ひびわれ性状

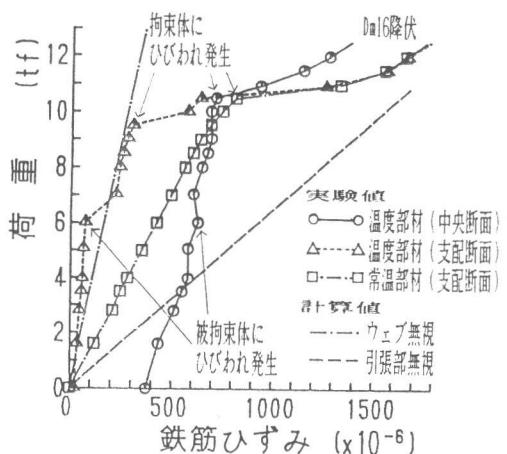


図-12 荷重-鉄筋ひずみの関係

13tf、たわみは4.49mmであるのに對し、温度部材の場合は12.62tf、4.11mmであつ

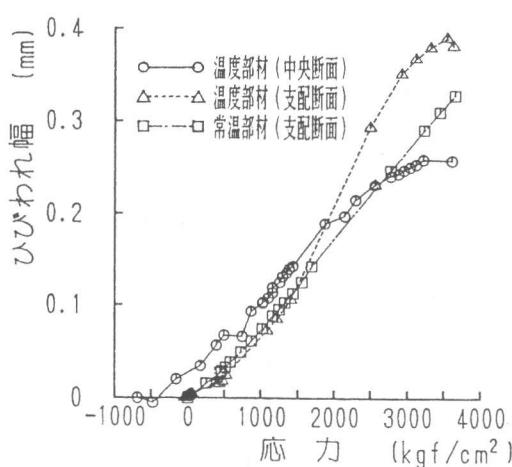


図-13 鉄筋応力度-ひびわれ幅の関係

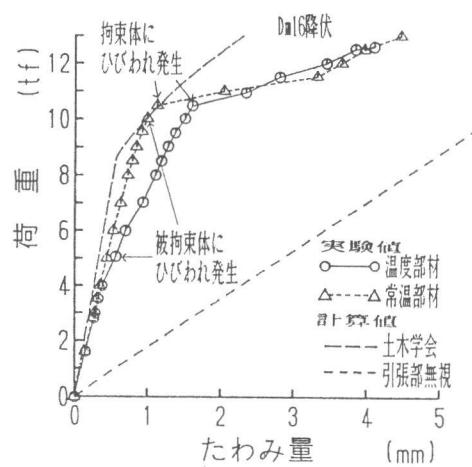


図-14 荷重-たわみ量の関係

た。これから、降伏時の荷重およびたわみ量については若干温度部材の方が常温部材よりも小さい傾向がみられるが温度ひびわれの影響はほとんど認められなかった。これは本研究の鉄筋比0.96%程度の場合ではひびわれの分散が顕著であり温度応力が開放したためと思われる。

4.まとめ

2層に打設されるRCはりモデルを用い、2層目に実構造物に即した温度履歴を与えて温度ひびわれを発生させ、その温度ひびわれとそれを有するRC部材の諸性質について、温度履歴を受けない部材のそれと比較して、実験的に検討した結果、本研究の範囲内で得られた主な結論は以下のとおりである。

- 1) 温度応力を受けた部材のひびわれ発生荷重は、中央断面を除けば、常温部材のおよそ50%と極めて小さく、またひびわれ間隔も10%小さかった。
- 2) 温度応力が鉄筋応力度におよぼす影響は拘束体にひびわれが発生するまでは明かに認められた。しかし、拘束体にひびわれが発生した後においては認められなかった。
- 3) 温度応力を受けた部材が降伏時の荷重およびたわみにおよぼす影響は常温部材のそれと比較すると認められたが極めて小さかった。これは鉄筋比が本研究の0.96%と比較的大きい場合においては、2)と同様にひびわれの分散による温度応力の開放があるためと考えられる。
- 4) 温度応力を受けた部材のひびわれ幅は、ひびわれ間隔が小さいにも拘らず、常温部材のそれよりも最大で27%大きく、明らかに温度応力の影響が認められた。同一鉄筋応力度の場合であっても温度部材のひびわれ幅は最大30%大きく、ひびわれ幅の予測に際してコンクリートの温度変形を考慮する必要のあることも明かとなった。

〔謝辞〕本研究の一部は文部省の科学研究費（試験研究（B） 課題番号03555105 代表佐藤良一宇大助教授）の援助の下で実施したものであり、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤良一他：RC部材の鉄筋応力度とひびわれ幅に及ぼす温度応力の影響、コンクリート工学年次論文報告集、第13巻、第1号、pp.857-862、1991
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリート温度応力の計算方法とそのパリソシブルーム、1985