

[71] 低温下における太径鉄筋コンクリートはりの変形性状

正会員 ○金 津 努 (電力中央研究所)
 正会員 青 柳 征 夫 (電力中央研究所)
 正会員 佐 藤 良 一 (防衛大学校)

1. はじめに

本研究は、前報¹⁾にひきつづき、低温下における鉄筋コンクリート(以下RCと略す)はりのひびわれならびに変形性状について論じたものである。前報では、主として低温下において軸引張および曲げを受けるRCはりのひびわれ性状について論じ、低温下におけるRC構造物に関する設計上の問題点を指摘した。とくに、鉄筋応力度と平均ひびわれ幅の関係は常温の場合とほとんど相違ないこと、低温下ではひびわれの分散が悪いこと、部材剛性が常温に比べかなり高くなることなどを明らかにした。

鉄筋コンクリート部材のひびわれおよび変形に本質的な影響を与えるのは、コンクリートの引張強度と、鉄筋とコンクリート間の付着特性である。また、ひびわれ性状には鉄筋のかぶりが大きく影響することが知られている。したがって、同一鉄筋比を有するRC部材であっても、鉄筋径の相違がひびわれや変形性状に及ぼす影響は無視できないものと考えられる。

本報では、低温下で曲げを受けるRCはりで太径鉄筋を使用した場合について実験を行ない、同一鉄筋比で細径鉄筋を用いたはりの実験結果と比較し、検討を加えた。

2. 実験概要

変形計測、冷却方法、載荷方法などの試験方法は前報に示したとおりである。本実験で扱うパラメーターは温度条件(常温、 -60°C 、 -120°C)、鉄筋径(D32、D16)、軸力の有無(0 kg/cm^2 、 50 kg/cm^2)であり、すべて鉄筋比は1.13%の一定値である。本報において検討のために用いた試験体は表1に示すとおり全部で10体である。試験体に使用したコンクリートの配合は表2に示すとおりである。

試験体を低温槽内に設置した状態を図1に示す。 $\phi 21\text{ mm}$ のPC鋼棒2本を断面の高さ中央でそれぞれの側面より5cmの位置に配置して、ポストテンション方式により軸力の賦与を行なった。なおRC部材降伏時点における軸力の増加は初期軸力の7~8%であった。また鉄筋応力度計算は、鉄筋とコンクリートの弾性係数(E_s 、 E_c)を既往の実験結果²⁾に基づき、 -60°C 、 -120°C でそれぞれ $E_s=2.01\times 10^6\text{ kg/cm}^2$ 、 $E_c=5.1\times 10^6\text{ kg/cm}^2$ と、 $E_s=2.04\times 10^6\text{ kg/cm}^2$ 、 $E_c=6.2\times 10^6\text{ kg/cm}^2$ とした。

表-1 試験体一覧

試験体	温度条件	使用鉄筋	軸力
	($^{\circ}\text{C}$)	(mm)	(kg/cm^2)
R-1	常温	4 D16	0
R-2	常温	4 D16	50
R-3	常温	1 D32	0
R-4	常温	1 D32	50
L-1	-60	4 D16	0
L-2	-60	4 D16	50
L-3	-60	1 D32	0
L-4	-60	1 D32	50
L-5	-120	4 D16	0
L-6	-120	1 D32	0

3. ひびわれ性状

部材降伏時までの曲げひびわれの分散性は、低温下での太径RC部材で3~4本、常温での太径、低温下での細径RC部材で5~6本、常温での細径RC部材で8本と、径が小さく常温の場合の方がひびわれ分散が良好であり、これは軸力があっても同様である。

太径RC部材のひびわれ性状として特徴的なことは、部材の底面(引張縁)において、縦ひびわれが観察されたことである。この一例を示すと図2の通りである。常温下での太径RC部材では、部材の許容曲げ耐力の付近からせん断スパンに縦ひびわれが発生し、図に示すように破壊時までには等モーメント区間にも生じている。また低温下のRC部材では、降伏時点までは縦ひびわれはみられないが、終局時点までには発生している。

表-2 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
25mm	10 $\pm$ 2	3 $\pm$ 1	59	41	147	250	796	1119	0.64

本太径試験体では、純かぶりとして鉄筋径以上の値(3.4cm)を確保はしているが、コンクリート強度

が著しく増加する低温下でさえ縦ひびわれ現象がみられることから、太径鉄筋の使用に際しては、そのかぶりの確保やスターラップの配置などの適切な縦ひびわれ防止対策を講ずる必要があると言える。

4. 鉄筋応力度と平均ひびわれ幅の関係

軸力の有無別に鉄筋応力度と平均ひびわれ幅の関係を示せば図3, 4, 5のとおりである。ここで鉄筋応力度はひびわれ断面における弾性計算値であり、軸力のある場合には圧縮部コンクリートの非線形性の影響により、実際の鉄筋応力度は計算値より若干大きいと考えられる。

図3, 4から、前報でも述べたとおり、D16細径RC部材では常温下と低温下でひびわれ幅に差がみられない。しかし、D32太径RC部材では、低温度になるにしたがってひびわれ幅が小さくなる傾向がみられる。これは、太径RC部材において、低温下のひびわれ間隔は常温下のそれよりも大きくはなるが、低温度になることで付着剛性が増加し、ひびわれ間で平均鉄筋ひずみを考えると、低温下の平均ひずみの方が常温の場合より相当に小さくなり、ひびわれ幅に与える影響はひびわれ間隔での差より大きくなる。したがって、これら両者の積として与えられるひびわれ幅は、低温下の方が小さくなると考えられる。

また同じ温度条件で比較すると、常温と -60°C では太径RC部材の方が細径RC部材よりもひびわれ幅が大きく、 -120°C では太径も細径も同じになる結果が得られた。これは、常温と -60°C では径の太い鉄筋を使用したRC部材の方がひびわれ幅が大きくなるという一般的性状と一致し、 -120°C では付着剛性が著しく増加し、ひびわれに寄与する鉄筋とコンクリートの相対すべりの生ずる領域が、ひびわれ間隔に関係なく太径と細径でほとんど等しくなるためであると考えられる。

軸力の有無がひびわれ性状に与える影響としては、軸力の存在によりひびわれの分散性がやや悪くなることが一般的に知られているが、本実験ではひびわれの分散性に関しては軸力のない場合と差がみられなかった。また図5からわかるように、軸力のある場合、温度条件の相違、鉄筋径の相違がひびわれ幅に与える影響の定性的な傾向は、軸力のない場合と全く同じであるが、定量的にはコンクリートの高圧縮応力下の非線形性を考慮して、鉄筋応力度を計算値より少し大きめに見積っても、軸力のある場合の方がひびわれ幅はやや大きめの値である。

以上より、太径RC部材では、低温下においてはひびわれの分散性は悪いが、同一鉄筋応力度に対しては常温の場合よりもひびわれ幅は小さくなる。しかし、細径RC部材の場合よりはひびわれ幅がかなり大きくなるので、ひびわれ幅の観点から使用性能が規制される場合に

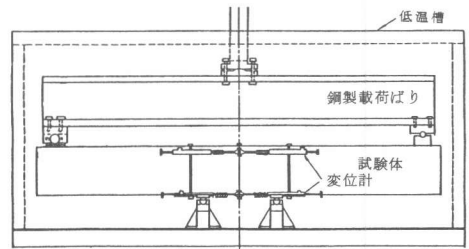


図1 試験体設置状況

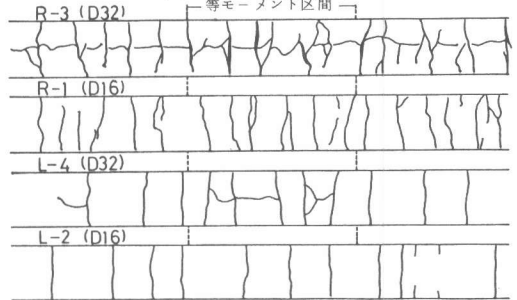


図2 縦ひびわれ状況：破壊時

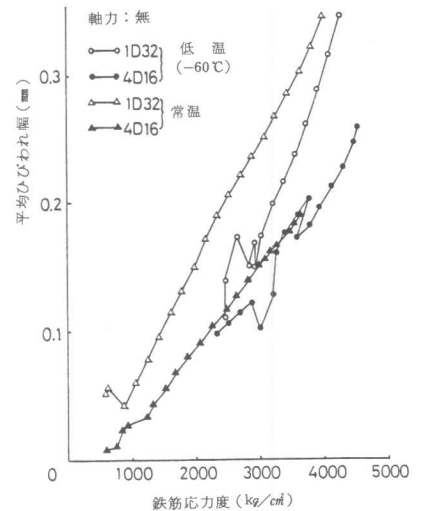


図3 鉄筋応力度と平均ひびわれ幅の関係

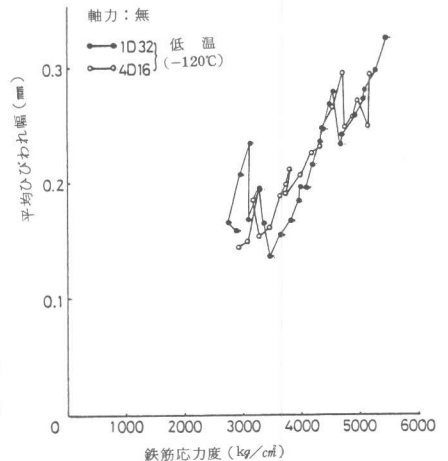


図4 鉄筋応力度と平均ひびわれ幅の関係

は、常温の場合と同様の太径鉄筋に対する設計上の配慮が必要になると考えられる。

5. モーメントー平均曲率の関係

前述のように、同一鉄筋比でも鉄筋径の相違により比表面積も異なるため、鉄筋とコンクリート間の付着特性も異なり、1D32と4D16を用いたはりでは、ひびわれの分散性やひびわれ幅にかなりの相違が見られた。図6.7に鉄筋径の相違がモーメントー平均曲率の関係に及ぼす影響を、それぞれ軸力の有、無に分けて示した。軸力のない場合には、 -120°C では細径RC部材の方がやや変形が大きい、常温と -60°C においては径の相違による影響はあらわれていない。一方軸力のある部材でも、 -60°C では太径RC部材の方がやや変形が大きい傾向はあるが、その差はわずかである。しかし常温では、太径RC部材の方が相当に変形が大きい。これは、R-4とR-2での物性値の相違により、コンクリートの非線形性が変形に及ぼす影響に差があることや縦ひびわれの影響が大きかったためと考えられる。また、ひびわれ断面計算も併せて示したが、軸力のない場合 -60°C から -120°C へと温度が低下する程、ひびわれ断面に基づく曲率の計算値と平均曲率の差が大きくなっている。これは、温度降下による鉄筋とコンクリート間の付着剛性の増加による影響であると思われる。一方、軸力のあるはりについてみると、常温の場合、ひびわれ断面の計算に圧縮部応力の増加によるヤング係数の低下を考慮していないので、ひびわれ断面よりも変形が大きくなっているが、それでも低温(-60°C)の場合にはひびわれ断面よりも変形が小さく現われており、鉄筋とコンクリート間の相対すべりの減少が変形を小さくしたことが認められる。

図8.9には、モーメントと平均曲率の関係を平均剛性の観点から、鉄筋応力度との関係で示している。ここで全断面有効時の剛性(EI_0)は、それぞれの温度条件におけるコンクリートのヤング係数を用いて計算を行なったものである。図から、低温度になることによるコンクリートの引張強度と付着剛性の増加により、低温下のRC部材の剛性が安定するのは、鉄筋応力度の相当大きい値であり、温度条件の相違による影響がみられるが、全般的には鉄筋径の相違が剛性の低下性状に与える影響は、ほとんどないと言える。

以上より、軸力の有無にかかわらず、低温下ではモーメントー平均曲率の関係に鉄筋径が及ぼす影響は本質的にはないと言えよう。

6. 降伏および塑性変形状

降伏時における変形量に関して、温度条件、鉄筋径の相違による差を検討する。温度条件の相違による影響は、低温度における相対すべりの減少、コンクリートの弾性係数と引張強度の増加等により、降伏時変形量は減少するが、鉄筋の降伏点が上昇する要因によっては降伏時変形量は増加する。また1%程度の鉄筋比であれば、低温下でのひびわれの極端な集中はみられないので、降伏時変形量の低温下と常温下との差は小さい。また、鉄筋径の相違による差はD32の方が降伏

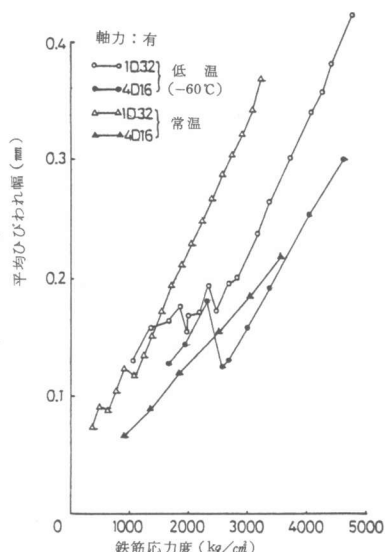


図5 鉄筋応力度と平均ひびわれ幅の関係

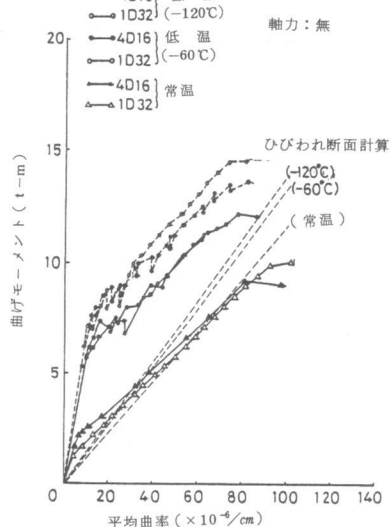


図6 曲げモーメントと平均曲率の関係：降伏まで

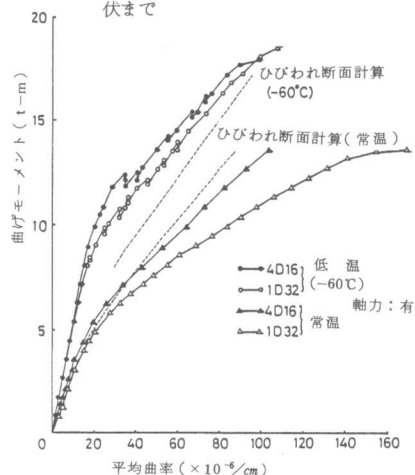


図7 曲げモーメントと平均曲率の関係：降伏まで

時変形は大きくなる。これは、図 6・7 に示されるように、D 3 2 の方が D 1 6 に比べ降伏点が若干高いためであり、また、常温の場合には縦ひびわれの影響も大きいと考えられる。

部材降伏以降の塑性変形状を軸力の有無別に示したのが図 10、11 である。軸力のない場合、 -120°C で太径 RC 部材の終局変形が細径 RC 部材の終局変形より小さめであるが、全体的には軸力の有無に関係なく、鉄筋径の影響が塑性変形状に与える影響はないものと考えられる。また、コンクリートの圧縮強度や圧縮ひずみ能力により支配されると考えられる終局時変形は、低温下での圧縮強度の大幅な増加や曲げ圧縮ひずみ能力の増加により、³⁾ 低温下での RC 部材の方が大きい。軸力のある場合には、終局時でも中立軸位置が深く、また軸圧縮力の影響のため、部材圧縮域が破壊するときの曲率が小さくなり、終局時変形は軸力のない場合の $1/3 \sim 1/4$ である。

以上より、降伏時変形および塑性変形状に関して、鉄筋径がこれらに与える影響はないと判断される。しかし、軸力のある場合には、常温下と同様低温下においても、終局靱性が低下することに留意する必要がある。

7. まとめ

常温および低温下での D 3 2 太径鉄筋を用いた RC 部材のひびわれ、変形状について、同一鉄筋比で D 1 6 鉄筋を用いたはりと比較して実験を行なった結果を要約すれば、本実験範囲で次のことが言えると思われる。

- 1) 太径鉄筋を用いた RC 部材のひびわれ分散性は、温度条件に関係なく、細径鉄筋を用いた RC 部材よりも劣っている。
- 2) 低温下および常温下とも、太径鉄筋を用いた RC 部材では、同一鉄筋応力度に対しては、細径鉄筋を用いた RC 部材よりもひびわれ幅は大きくなる。また太径 RC 部材と比較すると、温度の低い場合の方がひびわれ幅は小さい。
- 3) 太径鉄筋の使用に際しては、鉄筋に沿う縦ひびわれ防止のため、低温下においても十分なかぶりの確保や、スターラップの配置等の対策を講ずる必要がある。
- 4) 低温下でも常温下におけると同様、鉄筋径の相違が RC 部材のモーメント-平均曲率の係数にほとんど影響を与えない。また、降伏時変形、塑性変形状および終局時変形に与える鉄筋径の影響もほとんどない。終局時変形は軸力の存在により、軸力のない場合より著しく低下する。

本研究を実施するにあたり、紅林誠氏（電力技術整備 KK）、伊藤衆介氏、日下秀人氏（当時電力技術整備 KK）の多大なる協力があつた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 金津，青柳，佐藤：低温下における鉄筋コンクリート部材のひびわれ性状，コンクリート工学年次講演会講演論文集 P269～272 1979.6
- 2) 沼崎：異形鉄筋の母材および継手の低温下における強度の実験的研究，電力中央研究所報告 378519 1978.8
- 3) 青柳，阿部，金津：低温度下における鉄筋コンクリート曲げ部材の力学的特性，電力中央研究所報告 379015 1979.12

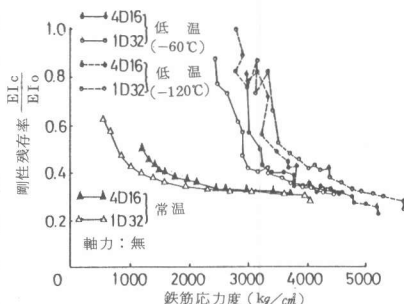


図 8 鉄筋応力度と剛性残存率の関係

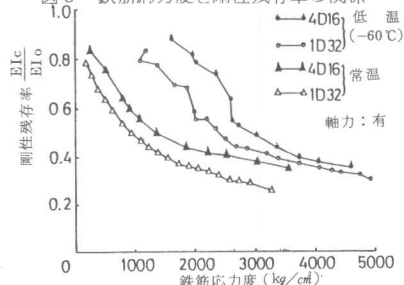


図 9 鉄筋応力度と剛性残存率の関係

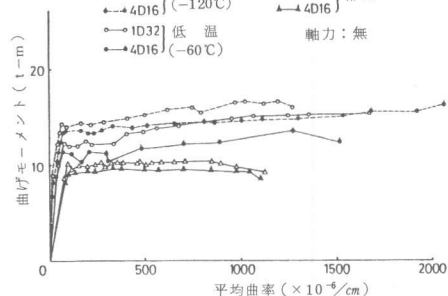


図 10 塑性変形状

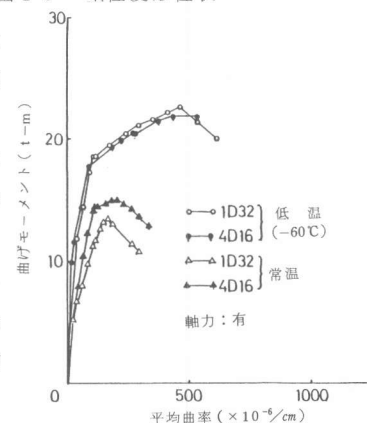


図 11 塑性変形状