

# V-77 極低温下における鉄筋コンクリート部材の曲げ強度特性について

フジタ工業技術本部 正会員 青 景 平 昌  
 同 上 正会員 和 泉 四 郎  
 同 上 正会員 樫 村 博

## § 1 はじめに

極低温下で使用される RC 構造物を合理的に設計し、かつその安全性を検討するための一環として、RC 部材の低温曲げ試験とこれを構成するコンクリートおよび鉄筋の低温試験を行ない、低温の要因が RC 部材の曲げ耐力、剛性および変形に及ぼす影響について検討したのでその結果を報告する。

## § 2 実験方法

1) 供試体 曲げ供試体の形状寸法および配筋は図-1 に示す。鉄筋比は  $P_t = P_c = 1.23\%$  (2-D19) の複鉄筋とスターラップは D13 を 10 cm ピッチに配筋した。鉄筋は SD30 を、またコンクリートは普通コンクリートを使用した。供試体は水中で養生し、試験時には油性ペイントで水分の蒸発を少なくした。

## 2) 冷却、加力および測定方法

供試体はフレキシブルな冷却槽の中で液体窒素を用いて徐冷し、ひびわれが発生しないように冷却速度を制御した。断面内が所定の温度になった後、温度を一定に保ちながら静的に漸増繰返し荷重をかけ、鉄筋およびコンクリートのひずみと変位を測定した。ひずみ計は低温用ゲージを用い、変位は冷却槽の外部から測定した。試験温度は、常温 (+5℃)、-30℃、-60℃、-90℃、-120℃ の 5 水準とし、各温度で 1 体づつ試験した。鉄筋とコンクリートの低温試験も同様な方法で試験し、各温度における特性値を得た。

## § 3 実験結果および考察

使用したコンクリートおよびコンクリートの低温試験の結果を図-2、図-3 に、また曲げ試験の結果を表-1 に示す。

## 1) ひびわれ状況および破壊状況

試験終了後の各温度におけるひびわれ状況を図-4 に示す。低温域になると常温に比べて、曲げひびわれ本数は少なくなり、ひびわれ間隔は大きくなる傾向にはあるが特に有意な差は認められない。破壊は引張鉄筋降伏後、圧縮部のコンクリートが降伏圧壊する型の曲げ引張破壊である。

## 2) ひびわれ荷重 ( $P_{cr}$ ) と降伏 ( $P_y$ ) および最大荷重 ( $P_{max}$ )

各供試体温度と  $P_{cr}$ 、 $P_y$ 、 $P_{max}$  の関係を図-5 に示す。温度の低下に伴い、 $P_{cr}$ 、 $P_y$ 、 $P_{max}$  とも増大し、その増加割合は、 $P_{cr}$  の場合コンクリート引張強度と、また  $P_y$  の場合鉄筋の降伏応力の傾向と概ね一致している。e 関数法による降

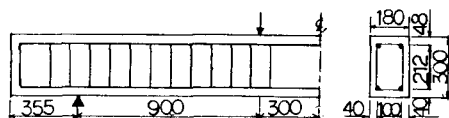


図-1 供試体の形状寸法と配筋図

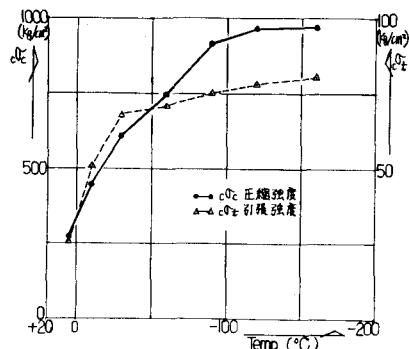


図-2 コンクリート強度と温度の関係

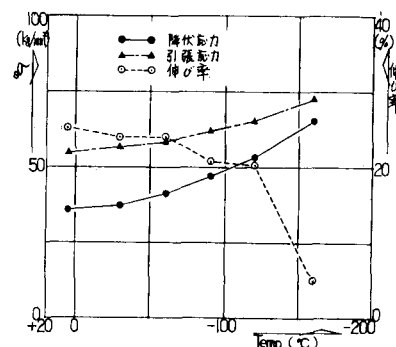


図-3 鉄筋強度と温度の関係

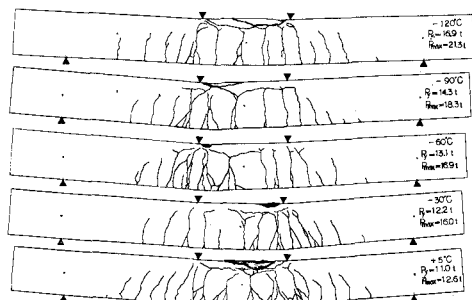


図-4 ひびわれ発生状況図

表-1 曲げ試験結果

| 設定温度<br>(試験温度)   | コンクリート強度                      |                               |                              | 鉄筋強度                          |                               | 曲げ試験結果        |                |                |               |                | 計算値                |                        | 備 考                                                                                                                                                                                                 |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | $\sigma_c$ Kg/cm <sup>2</sup> | $\sigma_t$ Kg/cm <sup>2</sup> | $E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>     | $\sigma_y$ Kg/cm <sup>2</sup> | $\sigma_u$ Kg/cm <sup>2</sup> | $P_{cr}$ t    | $P_y$ t        | $P_{max}$ t    | $\Delta P$ t  | $P_{max}/P_y$  | $P_{y\text{ cal}}$ | $P_y/P_{y\text{ cal}}$ |                                                                                                                                                                                                     |
| 常 温<br>(+5℃)     | 277<br>(1.00)                 | 256<br>(1.00)                 | $3.15 \times 10^5$<br>(1.00) | 3582<br>(1.00)                | 5456<br>(1.00)                | 2.0<br>(1.00) | 11.0<br>(1.00) | 12.6<br>(1.00) | 1.6<br>(1.00) | 1.15<br>(1.00) | 10.4<br>(1.00)     | 1.06                   | ( )内は常温比<br>$\Delta P = P_{max} - P_y$<br>$P_{y\text{ cal}}$ はe関数法で<br>計算した。<br>仮定<br>○鉄筋のEsは一定<br>○コンクリートの最大<br>応力時のひずみは<br>+ 5℃-0.22%<br>- 30℃-0.30%<br>- 60℃-0.33%<br>- 90℃-0.39%<br>-120℃-0.39% |
| -30℃<br>(-35℃)   | 614<br>(2.22)                 | 677<br>(2.64)                 | $3.25 \times 10^5$<br>(1.03) | 3725<br>(1.04)                | 5674<br>(1.04)                | 5.4<br>(2.70) | 12.2<br>(1.11) | 16.0<br>(1.27) | 3.8<br>(2.38) | 1.31<br>(1.14) | 11.0<br>(1.06)     | 1.11                   |                                                                                                                                                                                                     |
| -60℃<br>(-63℃)   | 716<br>(2.75)                 | 707<br>(2.76)                 | $3.79 \times 10^5$<br>(1.20) | 4119<br>(1.15)                | 5838<br>(1.07)                | 5.5<br>(2.75) | 13.1<br>(1.19) | 16.9<br>(1.34) | 3.8<br>(2.38) | 1.29<br>(1.12) | 12.1<br>(1.16)     | 1.08                   |                                                                                                                                                                                                     |
| -90℃<br>(-88℃)   | 916<br>(3.31)                 | 752<br>(2.94)                 | —                            | 4728<br>(1.32)                | 6220<br>(1.14)                | 6.4<br>(3.20) | 14.3<br>(1.30) | 18.3<br>(1.45) | 4.0<br>(2.50) | 1.28<br>(1.11) | 14.1<br>(1.36)     | 1.01                   |                                                                                                                                                                                                     |
| -120℃<br>(-120℃) | 978<br>(3.53)                 | 786<br>(3.07)                 | $4.65 \times 10^5$<br>(1.48) | 5337<br>(1.49)                | 6547<br>(1.20)                | 7.1<br>(3.55) | 16.9<br>(1.54) | 21.3<br>(1.69) | 4.4<br>(2.75) | 1.26<br>(1.10) | 15.8<br>(1.52)     | 1.07                   |                                                                                                                                                                                                     |

伏荷重の計算値はほぼ実験値に近い値になっており、通常の曲げ理論の適用が可能である。 $P_{max}$ の増加割合は $P_y$ の場合より大きく、降伏後の耐力増分は温度の低下に伴って大きくなる傾向を示し、低温域の方が降伏後の安定性は良くなっている。

### 3) 曲げ剛性

荷重と純曲げ区間の曲率の関係を図-6に示す。ひびわれ発生までは直線関係にあり、ひびわれの発生によって応力が再分配されるとき、曲率は急激に増大するが、その後は鉄筋が降伏するまで再び直線的な関係を示す。初期剛性は温度の低下に伴い増大し、-120℃の場合、常温の2倍程度になっている。ひびわれ発生後の直線部の剛性(勾配)は常温比で1.0~1.2程度の、また降伏時の剛性(原点からの勾配)も常温比で1.0~1.1程度の範囲内にあり、温度の影響はあまり受けていない。低温下のRC部材は常温に比べて初期剛性は大きくなるが、ひびわれ発生後から降伏に至る間に常温の剛性とほぼ等しくなるようである。

### 4) 変形

荷重とスパン中央の変位の関係を図-7に示す。最大荷重時の変位は、低温域の方が常温よりも大きくなり、低温になるに伴って変形能力が低下する傾向は認められない。むしろ実用的な範囲内では十分な変形能力と耐力を保有している。

## § 4 あとがき

極低温の影響を受けるRC構造物の挙動については、今後検討すべき多くの問題点があるが、本試験の結果より、-120℃程度までの低温域においては、常温に比べて変形能力あるいは吸収エネルギーが低下する傾向は認められず、鋼構造物で問題となる使用材料の低温脆性化の影響はほとんどないと考えられる。低温時の曲げ耐力は常温時よりも大きくなるので、常温時の材料特性値を用いたこの種のRC構造物の設計は安全側となるが、冷却過程における鉄筋とコンクリートの挙動がRC部材の耐力に及ぼす影響についての検討が必要である。

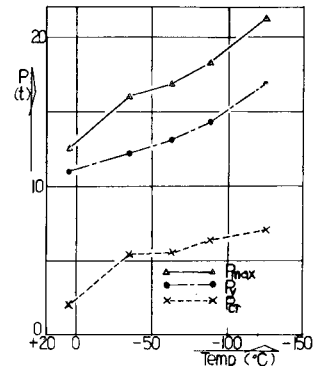


図-5 荷重特性値と温度の関係

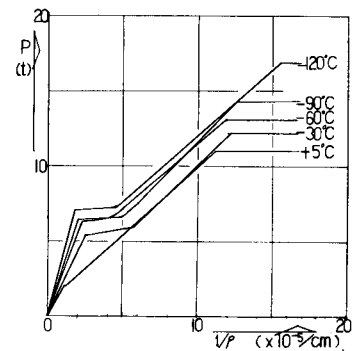


図-6 荷重と純曲げ区間の曲率の関係

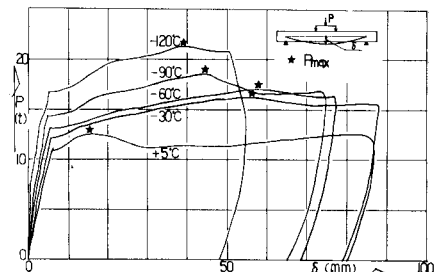


図-7 荷重-変位曲線