

前田建設技術研究所	正会員	内田 明
電力中央研究所	正会員	青柳 征夫
防衛大学校	正会員	佐藤 良一

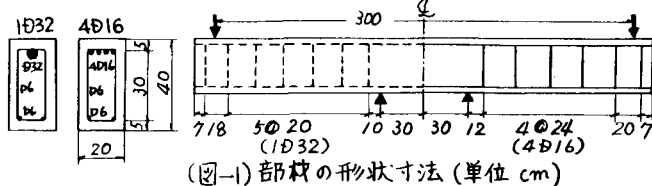
1. まえがき

鉄筋コンクリート製LNGタンクや原子炉格納容器のような構造物では、設計上壁体内外の温度差に起因する温度応力を適確に評価することが肝要である。ひびわれの発生した鉄筋コンクリート部材の場合、このような温度応力は引張側コンクリートの剛性寄与を考慮した平均曲げ剛性によって支配されるとされており、著者らは文献(1)で極低温下ではコンクリートの影響が極めて顕著であることを指摘した。

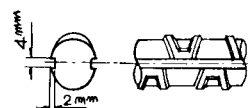
本報告は、このような観点から極低温下および常温における曲げ部材のひびわれ発生後の鉄筋ひずみ分布と剛性低下を詳細に測定することにより、引張側コンクリートの剛性寄与を実験的に確認するとともに、著者らに先に提案した平均剛性算定式⁽²⁾の低温下の曲げ部材への適用性についても併せて検討したものである。

2. 実験方法

使用した部材の断面・形状寸法と載荷方



法とともに図-1に示す。鉄筋径の影響を調べるために、鉄筋比1.02%を一定としD16とD32(いずれもSD35)の2種類を使用した。等モーメント区間の鉄筋ひずみ分布は、図-2に示す断面・形状の溝切り鉄筋に部材中央に対して対称な80mmの区間にわたって1cm間隔で貼付した鉄筋ひずみゲージにより測定した。常温下の部材の平均曲率は、鉄筋位置で等モーメント区間で10cm間隔で貼付けたコンタクトポイントと圧縮縁より1cmの位置に貼付けたコンクリートひずみゲージにより平均ひずみと測定し求めた。低温下の部材の曲率は、標点間長さ40cmの差動トランス型変位計(精度 $1/1000$ mm)を常温下の部材と同じ位置に取り付け標点距離80mmに対する変位を測定することによって求めた。試験時の枝令は約2ヶ月で、部材はすべて水中養生し試験直前に水槽から出し、低温用は、ただちにゴム系シール材でシールし水分の散逸を防止した。低温下の部材の試験温度は -60°C であり、約20時間養生して徐々に冷却した。なお、試験に使用したコンクリートは最大骨材寸法25mmの川砂利、川砂コンクリートで、すべて同一配合とした。試験時のコンクリートの圧縮強度は、常温で $300 \sim 350 \text{ kg/cm}^2$ 、 -60°C で約 800 kg/cm^2 であった。

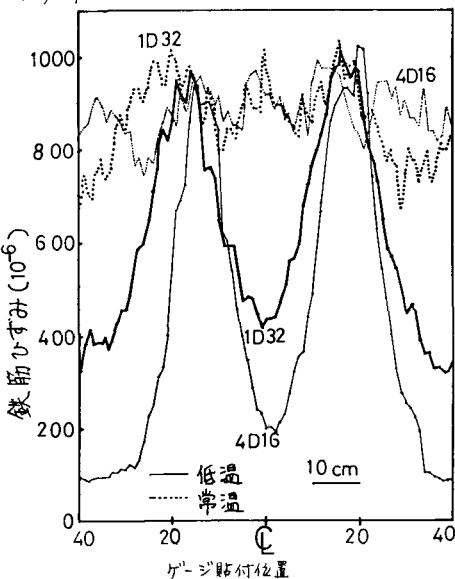


(図-2) 溝切り鉄筋

3. 実験結果および考察

3-1. 等モーメント区間の鉄筋ひずみ分布

ひびわれ断面の鉄筋応力度が許容応力度(ひずみで約 1000×10^3)に達した時点での鉄筋ひずみ分布を図-3に示す。ひびわれ発生後の低温下の曲げ部材の鉄筋ひずみ分布は常温下のそれとは著しく異なり、ひびわれ断面とひびわれ間中央断



(図-3) 鉄筋ひずみ分布

面の鉄筋ひずみに顕著な差が現れるとともに、む16の場合には200 μ mにも達する大きな付着応力が観測された。また鉄筋径の影響は、常温下の部材ではほぼ明瞭ではないが、低温下の部材では明確に現れており、曲げ部材の変形挙動を行なう場合、鉄筋径の影響も配慮してコンクリートの引張力分担を考えることの重要性が実験的にも明らかとなった。また、図-4は、弾性計算によって求めたひびわれ断面の鉄筋応力度と低温下および常温下の部材のひびわれ断面における実験応力度と比較したものである。低温下の部材では低温下の初性値を用いて計算したにもかかわらず、ひびわれ発生直後の計算値と実験値とは相当な開きがあり、ひびわれ断面においてもコンクリートの引張力は無視できないことを示唆している。

3-2. 平均曲げ剛性算定式の低温下の部材への適用

著者が文献(2)で提案したRaoの実験式にもとづく平均曲げ剛性算定式は①から③式のとおりであって、常温用の曲げ部材を対象としている。したがって、本式をそのまま低温用の部材に対して適用すると剛性が過小評価する恐れがあり、温度応力のような不静定力を扱う場合危険側となりうる。そこで本式の適用範囲を低温下の条件にまで拡張するため、 $R_{\alpha 0}$ が求めたひびわれ断面の鉄筋ひずみと平均鉄筋ひずみの差を表す係数 α を本実験より求めた α と比較し(図-5)、低温下の部材に対して④式のように修正し、①式を用いて求めた曲率を実験結果とともに図-6に示す。比較的良く一致しており、①式は④式を用いることにより低温下の曲げ部材に対しても十分適用できることを示している。

$$(EI)' = \frac{bd^3k^2(1-k/3)E_c}{2[0.9k+(1-k)\phi_s]} \quad \text{--- ①}$$

$(EI)'$: 平均曲げ剛性、 $k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$, ϕ_s は平均化係数で②式により定義される。

$$\phi_s = (1 - \Delta\sigma_s / \sigma_s) \quad \text{--- ②}$$

σ_s : 現行応力度算定法により求めたひびわれ断面鉄筋応力度。 $\Delta\sigma_s$: σ_s と平均鉄筋応力度との差でRaoの式③より求める。

$$\Delta\sigma_s = \alpha(\sigma_u / p) \quad \text{--- ③}$$

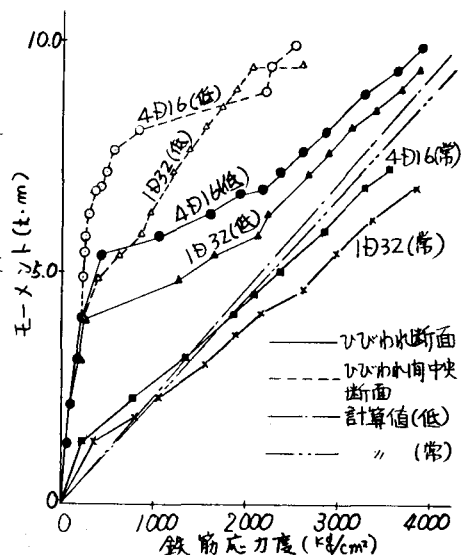
σ_u : 曲げ強度。 α : 実験より求める係数で、常温下の部材では、 $\alpha = 0.18(\sigma_{scr} / \sigma_s)$ 。ただし、 σ_{scr} はひびわれ発生時のひびわれ断面鉄筋応力度である。

$$\alpha = 0.25(\sigma_{scr} / \sigma_s) \quad \text{--- ④}$$

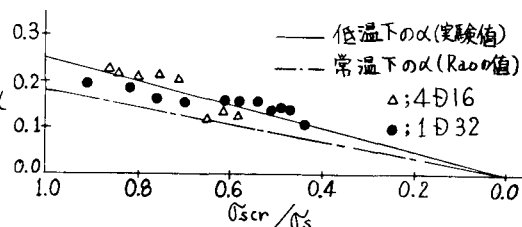
参考文献: 1) 佐藤、青柳、阿部、付着と腐食に鉄筋コンクリート部材の曲げ剛性について、1976年次講演会。

2) 青柳、大沼、温度勾配による中空円筒のひびわれ性状、セメント、昭61。

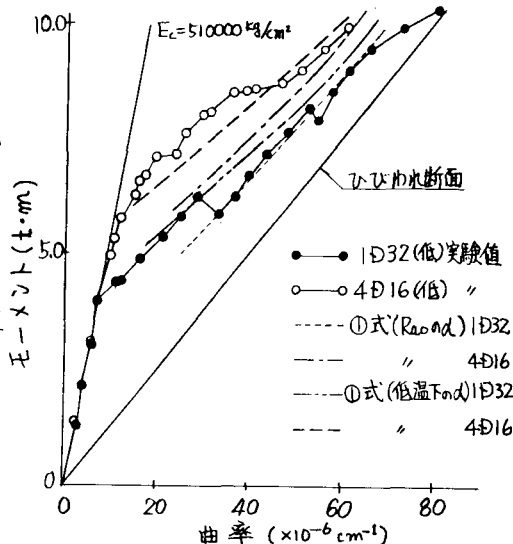
3) Rao, Trisegmental Moment-Curvature relations for Reinforced Concrete Members, Jot ACI 1973



(図-4) 鉄筋応力度の計算値と実験値の比較



(図-5) 本実験から求めた低温下の α



(図-6) ①式より求めた曲率と実験値との比較