

電力技術整備(株) 正員 杉林 誠
電力中央研究所 正員 青柳 征夫
防衛大学校 正員 佐藤 良一

1. まえがき 筆者らはRC製LNGタンク躯体の設計の合理化を目的として、一様な極低温下さらばに低温状態下温度勾配を受けるRC部材の力学性状、とくに剛性問題に関する基礎研究を行ってきた^{(1),(2),(3)}。本報告は、これらの研究の一環として実施したもので、プレストレスあるいは凍結圧縮による膨張圧を想定し、極低温下において軸圧縮力(以下軸力)を受けるRC部材の曲げ剛性に関する基礎資料の提供を目的とし、実験結果の考察を行おうとともに、ACIおよびCEB基準式の適用性について検討を加えたものである。

2. 実験概要 実験に用いた部材の形状・寸法は、図-1に示すとおりである。試験に供したはり、さらばに材料の試験成績を表-1に示す。軸力は、コンクリートの応力 50 kg/cm^2 を目録として、表-1に示すPC鋼棒を2本用いて与えた。なお、PC鋼棒は図-1に示す位置に配置して、載荷に伴う軸力増加を小さくした。これにより、部材の降伏時の軸力増加を8%以下とすることができた。低温用供試体は、水中養生後たんに透明ゴムシートで湿潤状態を保持したまま、夜体室裏によりおよそ30時間を要して -60°C までの温度に冷却した。部材の平均曲率は、低温用試作した差動トランス型変位計を図-1に示すように、鉄筋位置と圧縮縁より1cmの位置に取り付け測定した。この変位計は、1/1000mmのダイヤルゲージで較正し、その線形性は十分保証されている。

3. 軸力を受けるRC曲げ部材の極低温下における変形状 図-2, 3は、軸力を受ける極低温下のRC曲げ部材の $M-\phi$ 関係を、常温下のそれと比較して示したもので、これらの図に示した部材の鉄筋比はそれぞれ0.57%、1.13%である。図からわかるように、ひびわれ発生後の同一変形曲率に対するモーメントは、

常温下の部材のそれよりもおよそ1.5倍と大きくその値は鉄筋比の影響をそれほど受けていないことがわかる。また鉄筋比が0.57%と比較的小さい部材では、図-3に示すように極低温下の部材の降伏時変形量が、常温のそれの1/2程度であった、この面からも極低温下の部材の剛性は相対的に高くすることが認められる。図-4には、鉄筋比が1.13%の部材について剛性残存率: E_I/E_{I_0} (E_{I_0} -全断面有効時の剛性, E_I -ひびわれ発生時の平均剛性)と鉄筋応力度の関係を示す。

軸力を与えた常温下の部材の剛性残存率は、鉄筋応力度の増加に伴ってあらかじめ減少していく傾向を示している。しかし、極低温下の部材においては、一般にひびわれ発生時の鉄筋応力度が、許容応力度を越すほどの高い値を示すこと、またひび

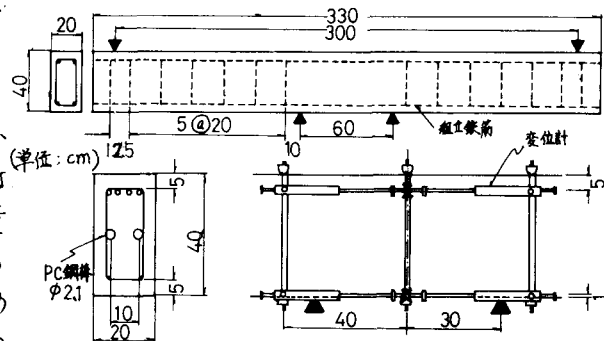


図-1. 試験体の形状・寸法および曲率測定用変位計

表-1. はりおよび使用材料の試験成績

	鉄筋比 %	降伏 モーメント t-m	降伏 モーメント t-m	最大 モーメント t-m	コンクリート σ_{cu} kg/cm^2	鉄筋 σ_{sy} kg/cm^2	鉄筋 E_s $\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$	コンクリート E_c $\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$	鉄筋 σ_{sy} kg/cm^2	鉄筋 E_s $\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
2D16 常温 (軸力:有)	0.57	4.52	10.72	11.45	274	452	2.92	3.62	1.97	
		8.94	11.72	17.68	710	120	5.10	4.15	2.10	
4D16 常温 (軸力:有)	1.13	4.39	14.45	14.95	274	452	3.15	3.62	1.97	
		9.90	17.73	21.92	710	120	5.10	4.15	2.10	
4D16 常温 (軸力:有)	1.13	2.61	9.21	9.71	274	452	3.19	3.62	1.97	
		5.80	11.35	14.13	710	120	5.10	3.62	1.97	

PC鋼棒($\phi 21 \text{ mm}$): $\sigma_{py}=120 \text{ (kg/mm}^2\text{)}, E_p=205 \times 10^4 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

われ発生後の $M-\phi$ 関係が不安定領域にあることなどの理由により、剛性残存率は常温下の部材のように、鉄筋応力度の増加に伴って徐々に減少していかない。これらのことは軸力より温度条件の方が、部材の剛性残存率に与える影響が大きいことを意味するものがある。

4. 設計基準式の剛性評価における適用性

図-2, 3には、ACIはらびにCEB式による計算結果と実験結果と比較して示した。上記2式は本来、外力を受けるRC構造物の変形算定を目的としていたが、コンクリートの引張応力負担による剛性への寄与を考慮していることから、これら2式の極低温下の部材に対する適用性の検討を試みた。ただし、温度応力を対象とした剛性評価という観点から、CEB式の平均鉄筋ひずりの制限($\epsilon_{sm} \geq 0.4\epsilon_s$)は無視した。計算に用いたコンクリートの弾性係数は、部材のひびわれ発生時における圧縮コンクリートの応力度(計算値)に対応する割増弾性係数と、降伏時のそれとの平均値を与えた。ACI式に用いるひびわれ断面の断面2次モーメントは、ACI規程に明記されているので、各荷重段階において鉄筋と圧縮コンクリートのひずりから求めた。極低温下における鉄筋比の比較的小さい部材を対象とした場合、軸力が加わればCEB式は良好な一致を示す。反面ACI式は剛性を過大評価することを確認している⁽³⁾。しかし、図に示すように軸力が減された部材に対しては、逆にACI式が非常によい一致を示し、一方CEB式は鉄筋比の小さい部材ほど剛性を過小評価する。これは軸力を減した極低温下の部材が、軸力の小さい部材ほど剛性を減すに伴って降伏に至るためであるといえよう。このように極低温下の部材に対する両式の適用性は、おおむね軸力のある場合にはACI、軸力の小さい部材に対してはCEB式がよい結果を与えているが、それぞれ限られた適用範囲があるため、その使用の際には十分検討を加える必要がある。最後に本研究を行うにあたり、協力していた東北電力中央研究所の関係諸氏らに日下、伊藤の両氏に感謝する。

参考文献

- 1) 紅野青和、佐藤：軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の平均曲げ剛性に関する考察 1979年土木学会関東支部年次講演集
- 2) 青野佐藤、金津：LNGタンクを対象としたRC部材の剛性評価に関する実験的考察 1979年セメント技術大会講演要旨
- 3) 佐藤青和、紅野：極低温下における鉄筋コンクリート部材の力学的特性 1979年セメント技術大会講演要旨

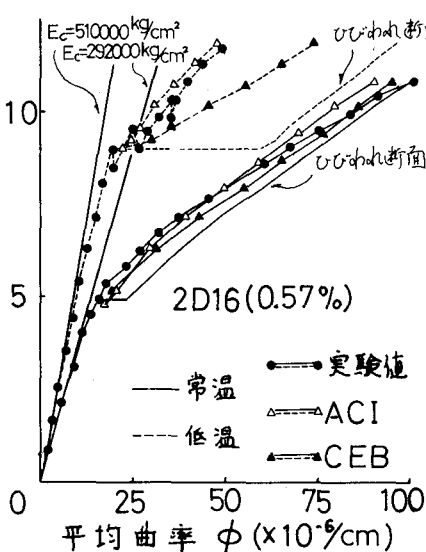


図-2. 曲げモーメント-平均曲率の関係

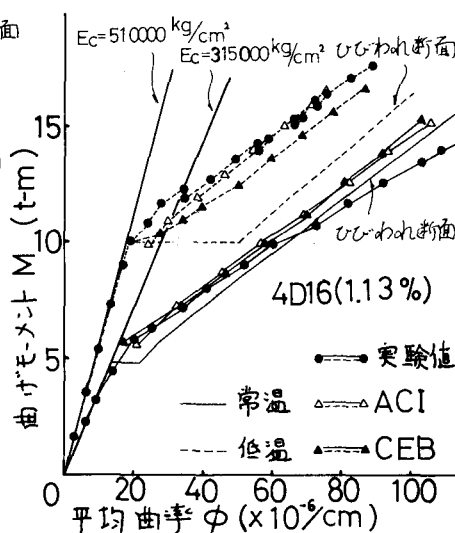


図-3. 曲げモーメント-平均曲率の関係

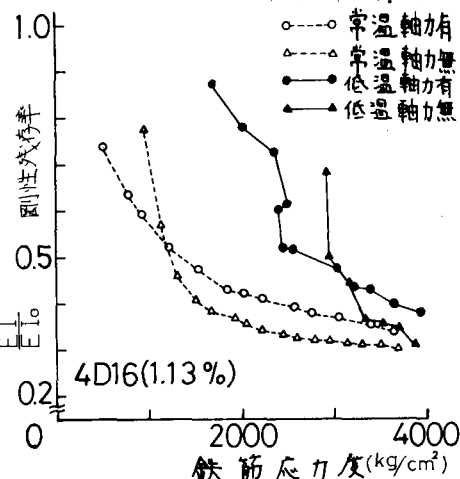


図4 剛性残存率と鉄筋応力度の関係