

防衛大学校 正員 佐藤 良一
電力中央研究所 正員 青柳 征夫
電力中央研究所 正員 阿部 博俊

1. まえがき

近年 原子炉用コンクリート容器や L N 4 貯蔵用コンクリートタンクの設計・製作がさかんに行なわれている。この種のコンクリート構造物は 温度勾配による曲げモーメントを受けるが、そのモーメントの大きさは主に平均曲げ剛性に支配されると指摘されている。本報告は この観点から 常温下と低温下の二つのケースについて 鉄筋とコンクリートの付着応力相対すべり曲線を用いて解析した鉄筋コンクリート部材の平均曲げ剛性を 実験値および既往の提案値と比較することにより考察しめようである。

2. 解析

2-1 仮定

- i) 鉄筋とコンクリートの $\tau_{xy}-\delta_x$ 曲線は 図-1 に示すごとく木村ら⁽¹⁾ の実験結果に従う。またその曲線は Martin⁽²⁾ に従う。
- ii) コンクリートは均質であり その断面は平面保持の仮定が成立する。
- iii) 引張部のコンクリートの面積は 位置に依らずである。

2-2 考え方および取り扱い

鉄筋コンクリート部材にひかれモーメント以上のモーメントが負荷された場合 外力と内力の釣り合いを考えれば ひかれを覚えていない断面の鉄筋のひずみは その位置のコンクリートのひずみより大きいと考えられる。(図-2) さらに ひかれ数が増加する段階では ひかれ間中央断面の引張縁のコンクリートの応力は ひかれの発生に対応して曲げ強度に達すると思われる。それ故 図-2 に示すように ひかれ間中央断面の引張縁のコンクリートの応力も常に曲げ強度に達した状態にあると考える。とり考えに便せば 釣り合い、適合条件から任意のモーメントにおけるひかれ間中央断面での鉄筋の応力が次式(2), (3), (4), (5)より求められる。

$$k_0 = \frac{R/2d + A_s/8R \{ (N/F - 1) + (N-1) A_s'/A_s \cdot d'/d \}}{1 + A_s/8R \{ (N/F - 1) + (N-1) A_s'/A_s \}} \quad (2)$$

$$\frac{I_{eff}}{8Rd^2} = \left\{ k_0^2 - k_0 \frac{d'}{d} + \frac{1}{3} \left(\frac{d'}{d} \right)^3 \right\} + \frac{A_s'}{8R} \left\{ (N-1) \left(k_0 - \frac{d'}{d} \right)^2 \frac{A_s'}{A_s} + \left(\frac{R}{F} - 1 \right) (1 - k_0)^2 \right\} \quad (3)$$

$$\sigma_{bu} = \frac{M}{I_{eff}} (h - kd) \quad (4) \quad \epsilon_c^T = \frac{d - kd}{h - kd} \epsilon_{bu} = F \epsilon_s^T \quad (5)$$

ひかれ断面での鉄筋の応力は既往の方法により容易に求められる。

この断面からひかれ間中央断面までの鉄筋およびその位置でのコンクリートのひずみ分布が明らかにされれば 部材の平均剛性を求めることができる。付着応力と位置の関係式を Noakowski⁽³⁾ に従えば次式となる。

$$\tau_{xy} = K x^{\frac{1}{n+1}} \quad (K: \text{定数}) \quad (6)$$

鉄筋およびコンクリートの任意の位置でのひずみは式(6)とひかれ面を境界条件とすることにより次式となる。

$$\epsilon_{sx} = \epsilon_s^T + \frac{U_s}{A_s \epsilon_s^T} \int_0^x \tau_{xy} dx = \epsilon_s^T \left\{ 1 + \frac{\epsilon_s^T - \epsilon_c^T}{\epsilon_s^T} \left(\frac{x}{a} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right\} \quad U_s: \text{鉄筋の全周長}, A_s: \text{鉄筋の全断面積} \quad (7)$$

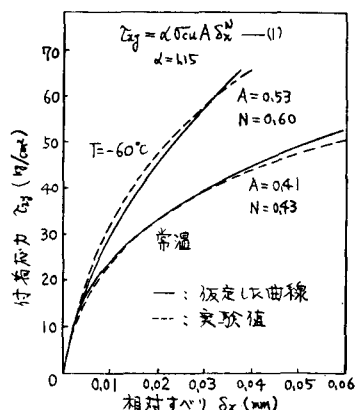


図-1 $\tau_{xy}-\delta_x$ 曲線

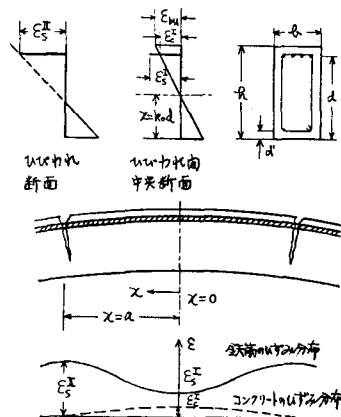


図-2 鉄筋コンクリートのひずみ分布

$$E_{cx} = E_s^* - \frac{V_s}{K A_s E_c} \int_0^x \tau_{xy} dx = E_s^* \left\{ 1 - \left(\frac{x}{a} \right)^{\frac{1}{1+n}} \right\} \quad (8)$$

平均ひびわれ間隔の1/2を意味する a は式(9), (8)を積分することから求めた相対すべり v より定まる付着力 τ 式(11), (6)より以下のように得る。

$$a = \left[\frac{1+n}{\alpha \sigma_{cu} A (E_s^*)} \left\{ \left(\frac{1}{\sqrt{1+n}} - 1 \right) + 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+n}} \cdot \frac{E_s^* E_c^*}{E_s^* + E_c^*} + 1 \right) \right\}^N \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad d_s: \text{鉄筋径} \quad (9)$$

この a を用い 鉄筋と圧縮縁コンクリートの平均ひずみおよび部材の平均曲率を求めれば以下のとおりである。

$$E_s^* = \frac{1}{a} \int_0^a E_{sx} dx = E_s^* \left\{ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{E_s^* E_c^*}{E_s^* + E_c^*} \right\} = V_s E_s^* \quad (10) \quad E_c^* = n p \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n p}} \right\} E_s^* \quad (11)$$

$$1/\rho = M/(EI)_{av} = \frac{E_s^* + E_c^*}{a} = V_s E_s^* \left\{ 1 + n p \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n p}} \right) \right\} / d \quad (12)$$

ただし, $n = E_s/E_c$, $p = A_s/bd$, V_s : 平均を意味する係数

3. 実験概要

使用した材料の低温下の試験成績は 岡沢⁽⁴⁾, 沼崎⁽⁵⁾の結果を用いた。それらを表-1に示す。試験した部材の断面・形状寸法の1例を図-3に示す。低温実験は 内寸法 60×160×350cmの低温槽内に部材をともに低温用に製作した差動トランス型変位計をセットして実施した。低温用変位計は 予め 1/100mm

および 1/1000mmのダイヤルゲージで較正した。常温下における部材の平均曲率は 鉄筋位置と圧縮縁より1cmの位置に10cm間隔で等モーメント区間全域にわたって貼付したコンタクトポイントの変形量を1/1000mmコンタクトゲージで測定することにより求めた。低温下の部材の曲率は 上記変位計をコンタクトポイントと同じ位置に1台有たり40cmの標点距離として80cmの区間の変形量を測定して求めた。荷重は 温度荷重を想定して変位制御で行なった。

4. 結果

本解析結果をRao⁽⁶⁾の実験結果および実験結果から求めた曲率と対比して図-4に示す。計算結果は 常温, 低温下ともに実験値と比較的良く一致しており, またRaoの結果と比較しても 常温, 低温下ともに同程度の評価を与えていることがわかる。低温下にある鉄筋コンクリート部材の平均曲が剛性の実験値は ひびわれ発生後において ひびわれ断面に着目して求めた曲が剛性のおおよそ1.5~3.0倍にも達している。このこと

低温下にある鉄筋コンクリート部材の剛性を評価する時 付着剛性の増加とあいまって コンクリートに負担される引張応力を考慮することの重要性を意味している。

5. あとがき

今後一層現象に忠実な仮定およびより厳密な材の表示とせよにかぶりの影響をも検討してゆきたい。最後に本研究に際し熱心な協力をしていただいた武内, 日下, 伊藤, 近藤の四氏をはじめ関係諸氏に謝辞する。

参考文献

- 1) 木村 昭: 低温下におけるコンクリートと鉄筋の付着特性について, 第3回評議
- 2) Martin, H.: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Sprengwirkung von Bewehrungsstäben unter kurzzeitbelastung, Heft 228 der Schriftenreihe des DAFStB Bonn (1973)
- 3) Nadewski, P.: Bemessung auf Biegezug im Hinblick auf zulässige Stahlspannung

	コンクリート					鉄筋 (SD35 D16)		
	W/C (%)	σ_{cu} (kg/cm ²)	σ_{tu} (kg/cm ²)	σ_{tu} (kg/cm ²)	E_c (kg/mm ²)	σ_s (kg/mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	E_s (kg/mm ²)
常温	58	36.6	51.0	34.0	2.8	36.2	53.4	19.7
低温	58	71.0	120.0	65.0	3.7	41.5	58.5	20.1

表-1 材料の試験成績

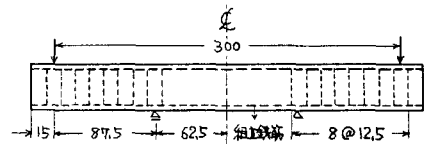


図-3 部材の断面形状寸法 (単位: cm)

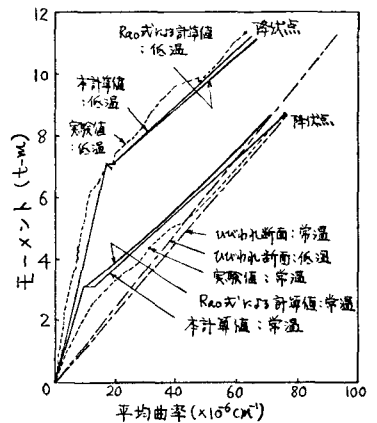


図-4 M-1/ρ 曲線

und zulässige Rißbreite, Bauingenieur 52 (1979)

- 4) 岡沢: 低温下におけるコンクリートの脆性試験, 1978, 未発表
- 5) 沼崎: 異形鉄筋部材の低温下の付着特性の検討, 1978, 未発表
- 6) Rao, P.S.: Integral Moment-Curvature Relations for Reinforced Concrete Members, Jour. + ACI, Vol. 70, No. 5, Sept. 1975