

大成建設土木設計部 正会員 大嶋匡博

電力中央研究所 正会員 青柳征夫 正会員 金津 努

正会員 遠藤達巳

1 まえがき

著者らは、高速増殖炉型原子力発電所のキャビティあるいは液体ナトリウムの配管が配置される鉄筋コンクリート(RC)製スラブ、梁、柱など、高温下に曝れるRC部材の強度・変形特性を把握することを目的として実験研究を行っている。^{1) 2)} 高温下では温度変化量が大きくなるので、コンクリートと鉄筋の熱膨張ひずみの差が大きくなり、大きな内部ひずみが生じることが推測される。

本研究は、熱膨張特性の相違がRC部材の強度・変形性状に与える影響を検討する第1ステップとして、自由変形時の内部ひずみについて定量的な検討を行ったものである。本研究では、加熱期間が3日程度、加熱時のコンクリート中の水分の逸散は自由として、外的拘束のない状態で自由変形試験を行ったRC部材を対象としている。

2 熱膨張係数

高温下でのコンクリートの熱膨張特性を支配する要因は、コンクリート中の水分の逸散である。セメント硬化体は温度上昇とともに水分が逸散して収縮し、骨材は高温下でも比較的安定した膨張を示す。この両者の兼ね合いによりコンクリートとしての熱膨張ひずみが決定される。ここでは、コンクリートの熱膨張係数を、水分逸散による収縮の影響も含めた熱膨張ひずみの、常温からの変化率として評価した。表1に実験に用いたコンクリートの配合を示す。図1および図2には、コンクリートと鉄筋の温度とそれぞれ熱膨張係数、熱膨張ひずみの関係を示す。

3 付着に基づく内部ひずみ評価方法

コンクリートと鉄筋の熱膨張係数差に起因する内部ひずみを評価するため、基本的なモデルとしてRC棒部材を用いる。図3に、RC棒部材のひびわれ間におけるコンクリートと鉄筋のひずみ分布を示す。図2からわかるように、現象的には温度上昇とともにコンクリートと鉄筋のひずみ差が増加し、コンクリートに引張応力、鉄筋に圧縮応力が生じる。さらにひずみ差が大きくなると、コンクリートの引張応力が引張強度に達して初ひびわれが発生し、それ以降は温度上昇とともにひびわれ本数が増加する。

付着の基本式、付着応力-滑り関係、およびその解を以下を示す。^{3) 4)}

$$\text{付着の基本式} \quad \frac{dS}{dX^2} = \frac{(1+np)\phi}{As \cdot Es} \cdot \tau$$

表1 コンクリートの配合

スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	減水材
8±2.5	3±1	43.2	43.1	160	370	789	1103	0.925

粗骨材の最大寸法: 20mm

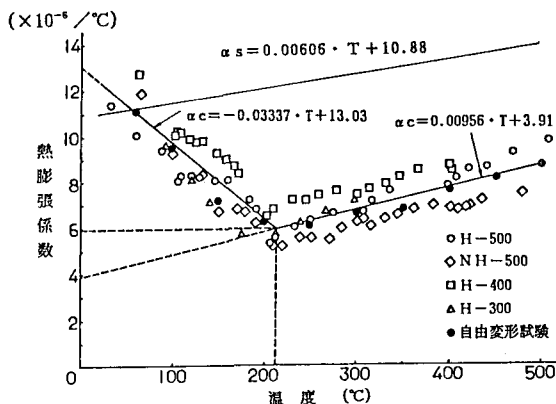


図1 コンクリート及び鉄筋の熱膨張係数

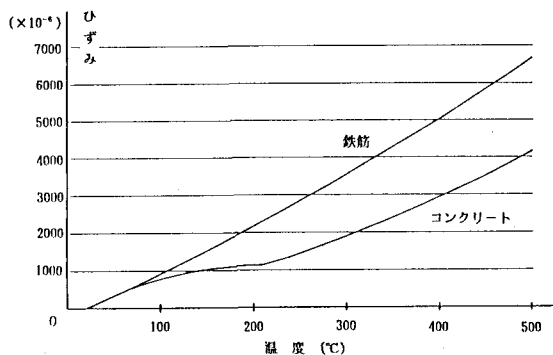


図2 コンクリート及び鉄筋の熱膨張ひずみ

付着-滑り関係 (一次式を用いる)

$$\tau = K \cdot S \quad \text{-----} \quad 0 \leq X \leq \ell - 3.5d$$

$$\tau = K \cdot S_0 \quad \text{-----} \quad \ell - 3.5d < X \leq \ell$$

滑り量 $S = C_2 \cdot \sinh C_1 \cdot X$

鉄筋の圧縮ひずみ

$$\varepsilon_s = \frac{C_1 \cdot C_2 \cosh C_1 \cdot X - (\alpha_s - \alpha_c) \Delta T}{1 + np}$$

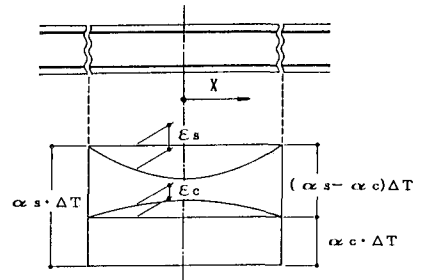


図 3 RC棒部材のひずみ分布

ここで、 A_s, E_s : 鉄筋の断面積, 弾性係数 α_c, α_s : コンクリート及び鉄筋の熱膨張係数
 n : 弾性係数比 p : 鉄筋比 ΔT : 常温よりの温度変化量
 ϕ : 鉄筋周長 K : 付着に関する定数 ℓ : ひびわれ間隔の半分

$$S_0 = \{S\} \quad X = \ell - 3.5d \quad C_1 = \sqrt{\frac{(1+np)\phi K}{A_s \cdot E_s}} \quad C_2 = \frac{(\alpha_s - \alpha_c)\Delta T}{C_1 \cdot \cosh C_1 \cdot \ell}$$

4 実験結果との比較

高温下で自由変形試験を行ったRCはり部材は、図4に示すような複鉄筋及び単鉄筋断面で、試験区間長は1.8mであった。図5に複鉄筋RC部材の温度と熱膨張ひずみの関係の計算値と実験値を示した。両者は比較的良好に一致している。また、計算では400℃までに5本のひびわれが発生する結果が得られたが、これもおおむね実験結果と一致した。以上から本方法による内部ひずみの推定は、妥当な結果を与えると考えられる。

5 内部ひずみ量の推定

単鉄筋の場合は、内部ひずみが断面内で勾配を持つが、ここではコンクリートの有効引張面積の考え方をを用いて、鉄筋周囲のひずみ分布を棒部材とみなして評価した。図6に、鉄筋の平均圧縮ひずみと温度の関係の計算値を示した。圧縮ひずみは200℃で290 μ 、300℃で310 μ であって、外的荷重作用でひびわれが進展するに従い解放されるものであり、RC部材の変形性状に大きな影響を与えるものと考えられる。

6 まとめ

内部ひずみの定量評価を行うには、配筋の条件、コンクリートの強度の影響など、さらに詳細な検討が必要であるが、自由変形状態にあるRC部材は、200℃付近で少なくとも数百 μ 程度の圧縮ひずみが蓄積されることが推定される。このような内部ひずみは、RC部材の耐力に本質的に影響するものではないが、使用状態レベルの応力状態とか変形性状に大きく影響するものと考えられ、高温下でのRC部材の力学的性状を特徴づける一要因として無視することはできない。

【参考文献】

- 1) 金津他; 高温下におけるRC部材の力学的特性、第7回JCI年次講演会論文集、1985.6
- 2) 金津他; 高温下におけるRC部材の曲率評価方法、第40回JSCE年次講演会概要集、1985.9
- 3) 森田他; 鉄筋コンクリート構造、丸善、1975
- 4) 林他; 引き抜き力を受ける異形鉄筋の引き抜き端近傍における付着性状、JCI RC構造の有限要素解析に関するコロキウム論文集、1984.12

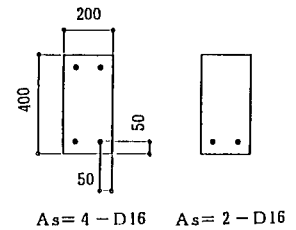


図 4 断面配筋図

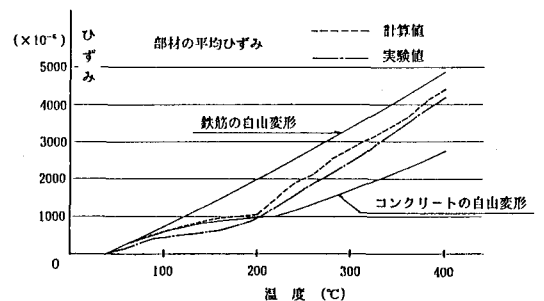


図 5 複鉄筋RC部材の自由変形量の実験値と計算値の比較

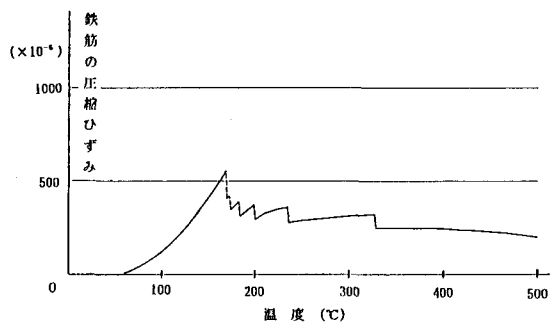


図 6 単鉄筋RC部材の鉄筋の平均圧縮ひずみ (計算値)