

V-332

高温下の鉄筋コンクリートの付着とひびわれ性状

電力中央研究所 正会員 金津 努

電力中央研究所 正会員 石田博彰

電力中央研究所 正会員 西内達雄

1. はじめに

原子力関連のコンクリート構造施設の設計では、高温条件を想定する場合が多い。現行設計法では¹⁾、許容温度と温度荷重を考慮する事が規定されているが、高温下でのコンクリートの物性の温度依存性が明らかにされているわけではない。特に、100℃を越えるような高温条件では、コンクリートの物性変化が著しくなる事に加えて、鉄筋とコンクリート間の熱膨張ひずみの差によりコンクリートに引張応力が、場合によってはひびわれが発生する。しかし、このような現象を扱った既往の研究例はほとんどなく、今後のデータの蓄積が望まれている。本報告は、昇温時の鉄筋とコンクリート間の熱膨張ひずみの差によって発生する鉄筋ひずみ、付着応力およびひびわれについて、鉄筋ひずみの実測結果から検討したものである。

2. 鉄筋コンクリート棒部材の昇温試験

図-1に示す鉄筋コンクリート棒部材を所定温度まで昇温する際に、昇温途中の鉄筋のひずみ分布を測定した。鉄筋ひずみは図-2に示すように、鉄筋の縦リブ位置に溝を削り、ここにひずみゲージを貼付して測定した。棒部材の温度は、所定位置に熱電対を埋め込んで測定した。試験体および実験要因を表-1に示した。昇温速度は約10℃/h r. で、昇温後1～2日間所定温度を保持した。

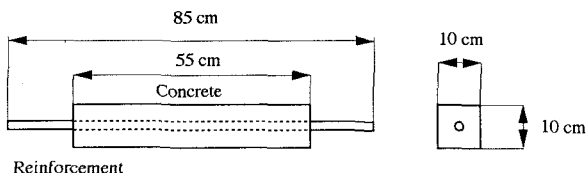


図-1 鉄筋コンクリート棒部材の寸法

3. 昇温時のひびわれ発生

昇温過程におけるひずみ分布の変化の例を図-3に示す。中央部のひずみ分布の急変はひびわれの発生を意味している。各試験体の昇温時のひびわれは、100℃までのHMシリーズでは1～2本、200℃までのHHシリーズでは2～3本であった。昇温後引張荷重載荷試験も行ったが、その際のひびわれは、鉄筋降伏時点でも2～3本であって、200℃までの昇温ではほぼひびわれの発生は安定してしまう事が分かる。言い換えれば、鉄筋とコンクリートの熱膨張ひずみの差に起因する内部ひずみは、温度条件が100～200℃であれば、鉄筋コンクリートの変形をひびわれ安定領域までに至らせる程の強制

表-1 鉄筋コンクリート棒部材の諸元

試験体	温度条件 (℃)	鉄筋径 (mm)	鉄筋比 (%)
HMS16	100	16	1.71
HMD16			
HMS19		19	2.48
HMD19			
HHS16	200	16	1.71
HH16			
HHS19		19	2.48
HH19			

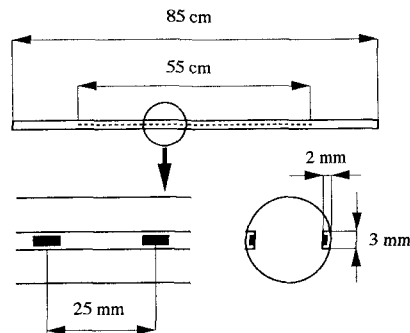


図-2 鉄筋ひずみゲージの貼付要領

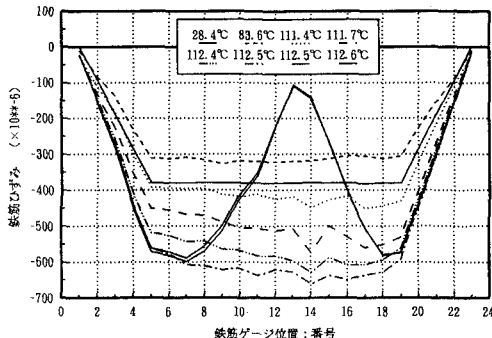


図-3 昇温時の鉄筋ひずみ分布；HMS16

力となることが判断できる。なお、昇温前の台形のひずみ分布は、乾燥収縮による鉄筋のひずみ分布を示したものである。乾燥収縮ひずみおよび乾燥収縮による端部の付着すべり領域の長さは、鉄筋ひずみの測定値から予め推定したものである。

4. ひびわれ幅について

測定した鉄筋ひずみからひびわれの発生およびその位置を特定し、ひびわれ間でひずみを積分して以下の式によりひびわれ幅（ w ）を求めた。この場合、個々のひびわれを扱うのではなく、平均ひずみ、平均ひびわれ間隔および平均ひびわれ幅として整理した。

$$w = \{ (\alpha_s - \alpha_c) \Delta T + \varepsilon_{sh} + \varepsilon_{ave} \} s_{ave}$$

α_s, α_c ; 鉄筋とコンクリートの熱膨張係数

ΔT ; 温度上昇量 s_{ave} ; 平均ひびわれ間隔（測定値）

ε_{sh} ; 乾燥収縮ひずみ ε_{ave} ; 平均鉄筋ひずみ（測定値）

ひびわれの発生状況を図-4に示した。HMシリーズでは、初ひびわれは強制ひずみ; $(\alpha_s - \alpha_c) \Delta T + \varepsilon_{sh}$ が約 600μ (約 100°C) で発生し、ひびわれ幅は約 0.1 mm である。初ひびわれ発生後、温度 100°C の定常状態を保持しているのでこの間に乾燥収縮が進行し、2本目のひびわれが発生している。このため、平均ひびわれ幅は小さくなり約 0.07 mm となっている。

HHシリーズでは、各ひびわれ発生時の温度はばらっているが、強制ひずみが 1200μ (約 160°C) までにほぼ全てのひびわれが発生している。ひびわれ幅は強制ひずみが 1200μ (約 160°C) で $0.12 \sim 0.16 \text{ mm}$ 、 1600μ (約 200°C) で $0.19 \sim 0.25 \text{ mm}$ となり、鉄筋径の違いによるひびわれ幅の相違は小さい。 $100^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ の間でコンクリートと鉄筋の熱膨張ひずみの差はかなり大きくなるので、 200°C でのひびわれ幅も 100°C の場合に比較してかなり大きい。全般的には、ひびわれ幅は強制ひずみと直線関係にあることが分かる。

5. 付着応力について

図-5、図-6には、昇温に伴う付着応力度の変化を示した。最大付着応力度 (τ_{max}) も平均付着応力度 (τ_{ave}) も昇温に伴って同じように変化している。ひびわれの発生とともに大きくなり、ひびわれの発生が安定すると強制ひずみが増加しても付着応力度はほぼ定値を保持する。HM、HHシリーズの所定温度時点の τ_{max}, τ_{ave} はそれぞれ約 $49, 28 \text{ kgf/cm}^2$ および約 $64, 30 \text{ kgf/cm}^2$ であった。これらの試験体は引張試験を実施し、載荷に伴う付着応力の変化のデータを得ているが、昇温過程で生じる付着応力は、引張試験時の最大値に比較して τ_{max} で約70%程度、 τ_{ave} で約80%ある事を確認した。付着応力度の値から判断して、 200°C の高温下であっても、常温下と変わらない付着性能が発揮されている事が推定される。

【参考文献】1) 日本建築学会; 原子力用コンクリート格納容器設計指針案・同解説 1978

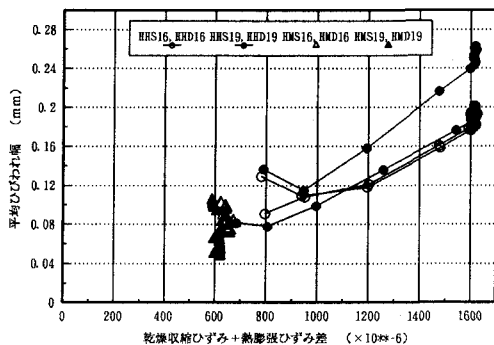


図-4 昇温に伴うひびわれ幅の変化

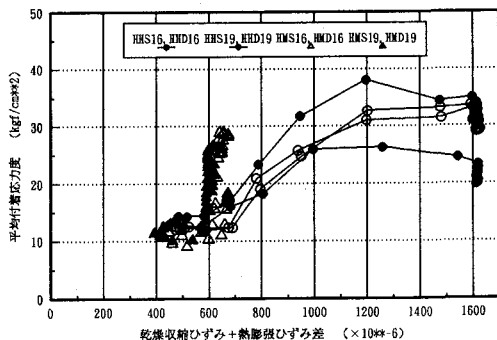


図-5 昇温に伴う平均付着応力度の変化

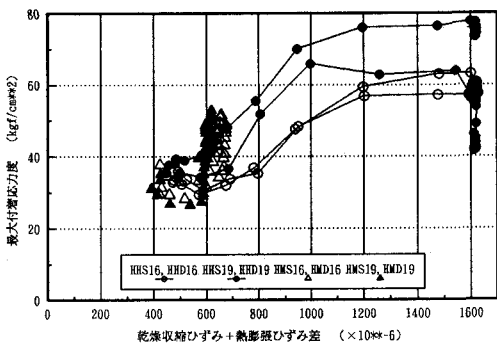


図-6 昇温に伴う最大付着応力度の変化