

コンクリート円筒体の温度応力の測定について

中国電力株式会社 技術研究所 久島康夫

1. まえがき

近年、原子力発電所の積極的な建設に伴い、格納容器として用いられているコンクリートの高温下における性状を把握し、合理的な設計を行なうことが必要となっている。

しかし、従来、コンクリート構造物が、外部から高温を受けたときに発生する熱応力は、耐火建築物などを除いて問題になることは少なく、あまり研究が行われていない。したがって、熱応力を容易に解明することは難しく、高温を受けるコンクリート構造物は、材料試験、模型などにより安全性を立証しているのが現状である。本文は、原子力発電所の遮へいコンクリートを対象として、円筒体鉄筋コンクリート構造物の試験体を製作して、この円筒体が、内外部に温度差を受けたときのコンクリートの性状を把握するために行なう実験の概要について述べるものである。

2. 使用材料および試験体の形状寸法

試験体の製作に用いたセメントは小野田F.A.B種で、細骨材には斐伊川産と出雲市の山砂を混合し粗骨材は最大寸法 25mm の碎石を用いた。コンクリートの調合を表-1に示す。

コンクリートの練り混ぜは強制攪拌ミキサを用い、

表-1. コンクリートの調合

W/C (%)	S.L. (mm)	E.A. (%)	S/A (%)	量 (kg)				混和剤
				C	W	S	G	
52	12	4.0	46	306	159	807	1034	ボンドス No.5 L 0.25%

締固めは実験室用バイブレータを用いて行ない、成型後、試験体には十分に水分を与えて養生した。

なお、養生期間の平均気温は、 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ であった。

実験に使用した試験体は、外径 24cm 、内径 16cm 、高さ 60cm の中空円筒体で、外周部に環状に異形鉄筋 $D\phi 16$ を約 10cm ピッチに入れたものである。図-1に試験体の形状寸法を示す。

3. 試験方法

(1) 試験方法の概要

試験は、試験体のコンクリート全体が一様な温度分布をしている状態から、円筒体の内周部より加熱を行なって、そのときに発生するひずみ、あるいは温度変化を測定した。

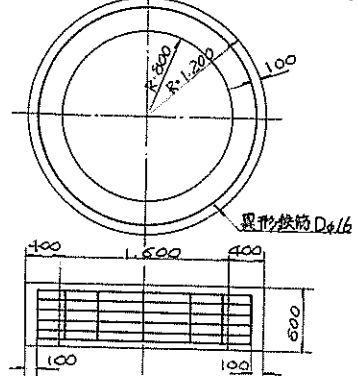
加熱は、次の3回に分けて行なった。

オ1回： 熱源を約4%の速さで上げ、円筒体の内外面で 30°C の温度差がついたとき熱源を一定に保ち、ひずみ、温度の測定を行なった。

オ2回： 試験体の外周面を厚さ 20mm の断熱材(発泡スチロール粒状)で囲って、オ1回と全く同じように温度変化を与えて、断熱材がコンクリート内部の温度分布、ひずみ分布に与える影響を調べた。

オ3回： コンクリートにひびわれが発生するまで温度差を与えて、このときの温度差、

図-1 試験体の形状寸法 (単位mm)



ひずみ分布およびひびわれ発生後の応力分布を知ることが目的とした。

(2) 加熱方法

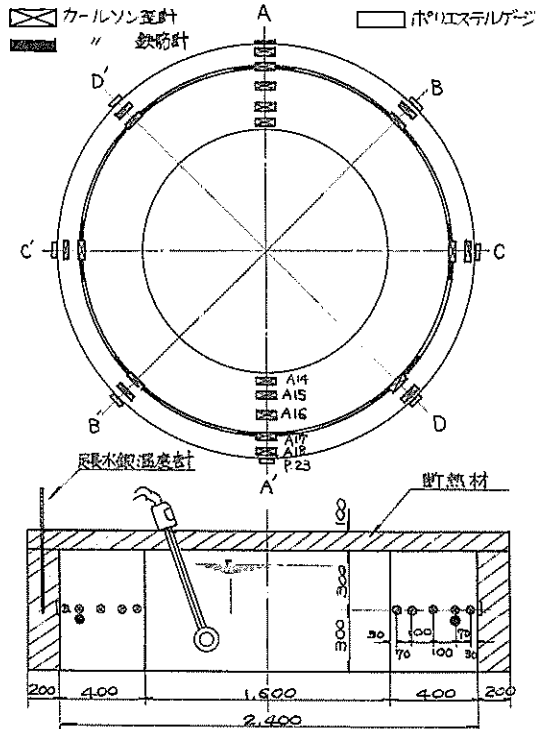
円筒体中央の鉄板水槽に水を満して、その中にパイプヒーター（2kW×4本，13kW×2本）を入れ水を加熱することによって、コンクリート内周部を加熱した。また、水温が均一になるように水攪拌装置を設けた。この他、断熱のために円筒体上面は、厚さ10cmの発泡スチロール（板状）でおおった。

(3) 測定方法

コンクリート内部のひずみ温度の測定には、

図-2 測定計器設置位置

計器長10mmのカールソンひずみ計を用いた。外周部コンクリート表面のひずみは、ゲージ長70mmのポリエステルゲージにより、温度は、サーミスタエレメントの封入してあるガラスをテープで貼りつけることにより測定した。また、鉄筋には、径6mmの鉄筋計を溶接した。これらの計器の設置位置を図-2に示す。



4. 試験結果

(1) オ1回およびオ2回加熱

A'断面における半径方向の温度分布を図-3および図-4に示す。また、ひずみの比較を図-5に示す。

この測定結果のように、熱源の温度が上昇すると、熱伝導のためにコンクリート内部で高温、外部で低温の状態になり温度差が生じる。

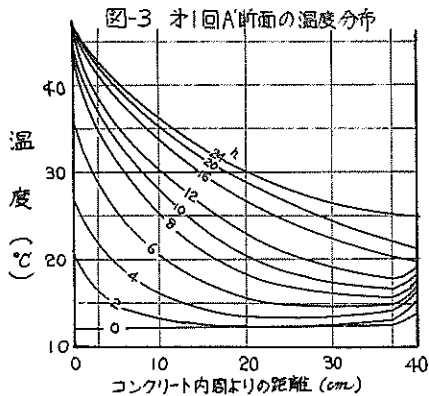
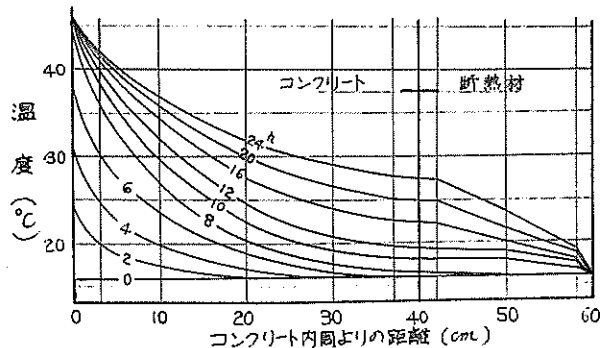


図-4 オ2回A'断面の温度分布



円筒体では、この温度差によって、円筒体外部には引張ひずみが、内部には圧縮ひずみが発生することになる。温度差が大きいほどひずみも大きくなり、外周部に生じる引張ひずみが、コンクリートのノビ能力を越えると、ついにはコンクリートにひびわれが発生することになる。

オ1回加熱では、熱源を約4%の速さで上昇させたので、熱を与え始めてから8時間後に30℃の温度差がつき、このときの引張ひずみが 45×10^{-6} 、圧縮ひずみが 210×10^{-6} であった。8時間以後16時間熱源を一定にした結果、試験体の外周部にもや、くりと熱が伝導し、経過時間24時間では温度差22℃と勾配がゆるくなっており、ひずみも小さくなっている。

オ2回加熱では、外周面に断熱材を巻いたわけであるが、図-5によると、経過時間8時間まではオ1回、オ2回ともひずみは全く変わらず24時間右において断熱材を巻いた方が若干小さくなっている。このことは、温度が一様な状態から熱を与えた場合には、ひずみの大きなときには、断熱材の効果はなく、温度勾配がゆるくな、てひずみが小さくなっているときに若干の影響があることを示している。

(3) オ3回加熱

測定の結果は、図-6に経過時間と温度の関係を、図-7に経過時間とひずみの関係を示す。また、図-8にはA断面の半径方向の温度分布を示す。

図-6に示すように 98℃まで水温を上昇させて、その後、35時間、熱源を一定に保ったが、途中から水温を急上昇させたので、コンクリート内周部で温度勾配が急になっている。

円筒体外周面に、経過時間10時間30分より微細なひびわれが入り始めて、12時間40分に5箇所に至直

図-5 A断面のひずみ分布の比較

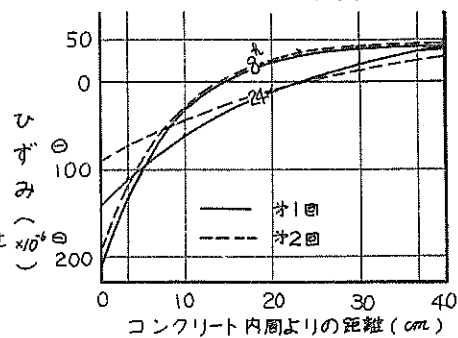


図-6 経過時間と温度の関係

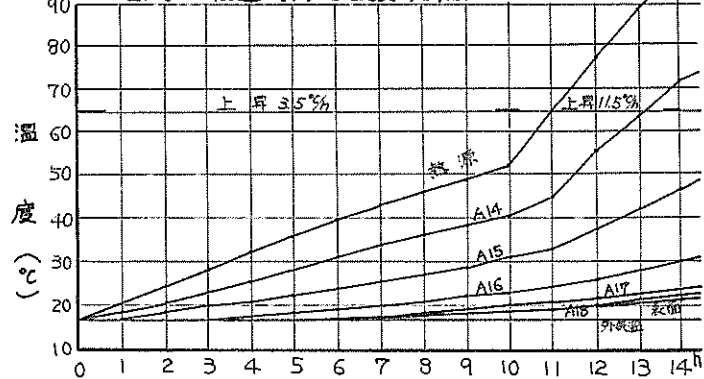
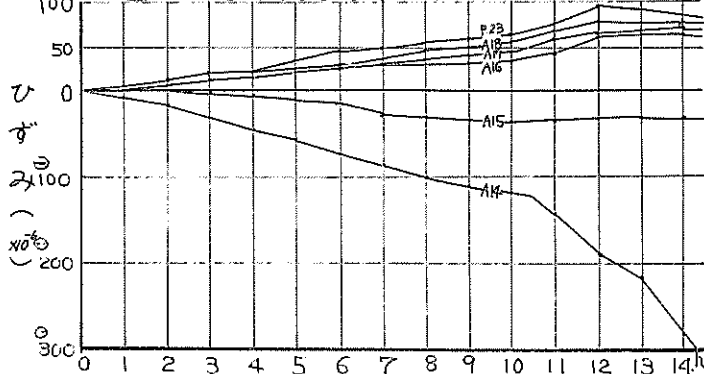


図-7 経過時間とひずみの関係

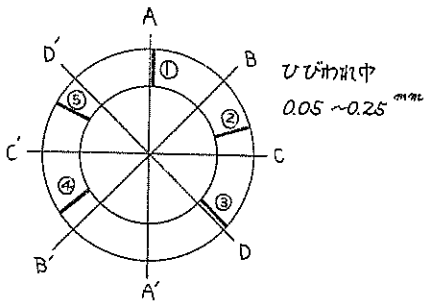


方向に通ったひびわれが認められた。その後、ひびわれの発生はなく、ひびわれ中も変化しないようであった。

なお、最初のマイクロクラックは、温度差 40°C で、最終ひびわれは温度差 64°C で生じた。

ひびわれ発生箇所を図-9に示す。

図-9 ひびわれ発生箇所



また、鉄筋の応力分布を図-10に示す。この図からわかるように、ひびわれが発生するまでは、一様な応力分布を示しているが、時間が経過すると、部分的に集中し、ひびわれ発生とともに大きな引張応力が鉄筋に働いている。

すなわち、ひびわれ発生までは、コンクリートと鉄筋は同じように働くが、ひびわれが発生すると、その部分の鉄筋は大きな応力を受けることになり、ひびわれ発生部以外のひずみは若干減少するようである。

ひびわれ発生時のひずみは、A断面の外周面において 105×10^{-6} であり、 $\sigma = E \cdot \epsilon$ として応力を求めると約 30 kg/cm^2 となり、才3回試験時の試験体の引張強度 25 kg/cm^2 を上まわっている。

以上、実験の目的、試験の結果の概要を述べたが、その他、実測値と理論値の比較あるいは、ひびわれの状態など、今後の検討として残っているので、ここでは述べる事ができない。

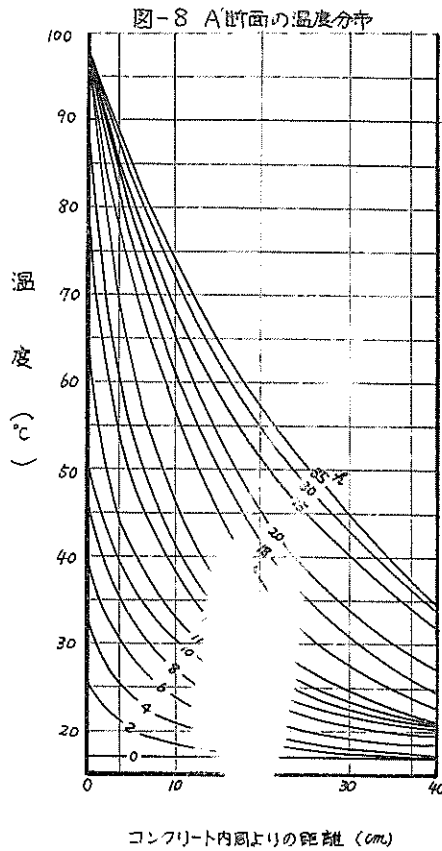


図-10 鉄筋の応力分布

