

阪神高速道路公団

正会員

加藤 幹夫

〃

〃

竹崎 昇

東洋技研コンサルタント(株)

〃

島田 功

1. はじめに

PC構造物はセメント量が多く、水和反応を進めるため、若材令で高い温度上昇を示す。さらにマッシブな構造物では熱拡散がおそく、内部温度がかなり上昇する。このような温度上昇は、内部拘束により表面に引張応力を発生させ、しばしばひびわれ発生の原因となる。温度上昇を推定するためには、外気温の変化、コンクリートの断熱温度特性、熱的性質など、種々な因子の影響を把握しなければならない。

本報告は、T型PCはり橋脚はり部において、これまでの資料をもとに、これらの要因を推定し、差分法による温度上昇履歴の追跡と実測値との対比を行なった。またこの温度上昇履歴をもとに、温度応力をFEMで追跡し、ひびわれ発生の可能性を示唆したものである。

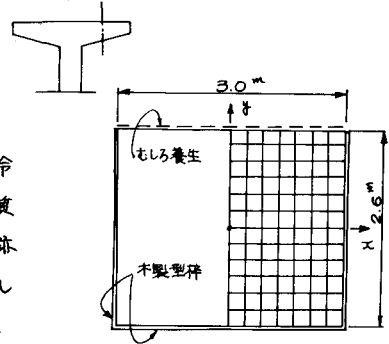


図-1 解析断面と差分ネット

2. 硬化熱による温度の解析

解析モデルはT型PCはり橋脚のはり中央部とし、図-1に示す。2次元場の熱拡散を、コンクリート打設時から2時間ステップで、材令15日まで差分法により追跡した。計算に用いたコンクリートの熱的性質等は表-1のとおりである。図-2、3はこれらの条件のもとで追跡した主要点の温度上昇履歴と断面内の温度上昇分布を実測結果と対比して示したものである。ただし実測値は、冬期(1月)に測定したもので、打込み温度、外気温は解析条件より低い。しかし内部の温度は解析結果と同じくらいまで

上昇している。したがって断熱温度上昇は相当高くなっているものと予測される。

本解析結果によると、表面と内部の温度差は、材令2~3日で約23℃である。

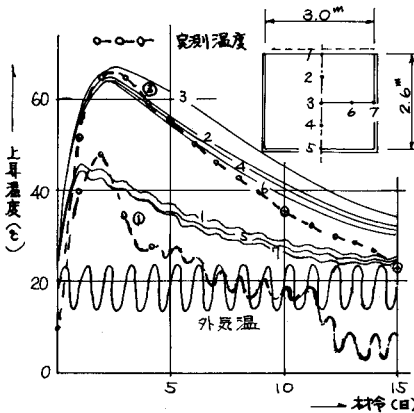


図-2 温度上昇履歴

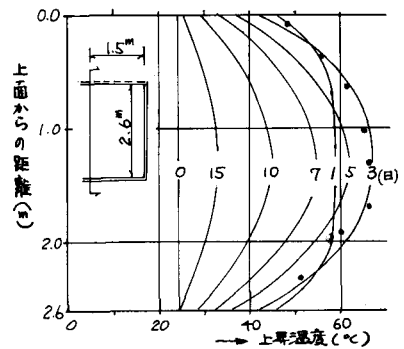


図-3 温度分布

表-1 解析に用いた諸因子

コンクリート				型 枠 (木製)		上面むしろ養生		空 気 (外気)	
セメント量	380 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	熱伝導率	1.71 $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$	熱伝導率	0.8 $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$	熱伝導率	0.2 $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$	熱伝導率	5 $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$
打込み温度	24.5 $^\circ\text{C}$	熱拡散率	0.003 $\frac{\text{m}^2}{\text{hr}}$	厚 さ	1.2 cm	厚 さ	1.0 cm	14 $^\circ\text{C}$ ~ 24 $^\circ\text{C}$ の間は 1日周期の正弦変化	
断熱温度上昇 $(T) = 44.9 (1 - e^{-142t})$				t: 材令 コンクリート硬直より					

3. 温度応力の解析

前項に示した断面内での硬化熱分布の変化により、断面内で体積変化が生じ、内部拘束の影響により拘束応力を生じる。またこの応力は時間経過とともに変化する。解析はヤング係数およびフリーフ係数の経時変化を考慮し、各計算ステップで増減する変化応力（ひずみ）の和の形で、応力およびひずみとF.E.M.により追跡した。

コンクリートの力学的性質は次のとおりとした。

$$\begin{aligned} \text{圧縮強度} \quad \sigma_c &= 396(1 - e^{-0.229t}) \\ \text{ヤング係数} \quad E_c &= 3.07(1 - e^{-0.229t})^{\frac{1}{2}} \times 10^5 \\ &\quad (\text{ACIの基準 } E_c = 4300 \rho^{\frac{2}{3}} \sqrt{\sigma_c} \text{ より}) \\ \text{ポアソン比} \quad \nu &= 1/6 \\ \text{せん断弾性係数} \quad G &= \frac{E_c}{2(1+\nu)} = 0.43 E_c \\ \text{フリーフ係数} \quad \alpha_t &= 3.41 - 0.736 \log(1+t) \end{aligned}$$

コンクリートの圧縮強度とヤング係数の経時変化を、図-4に示す。また解析結果の一例を、図-5、6に示す。図-5は、1点の応力（ひずみ）履歴を示したものである。図-6は表面引張応力が最大となる材令3日における応力の分布を示したものである。

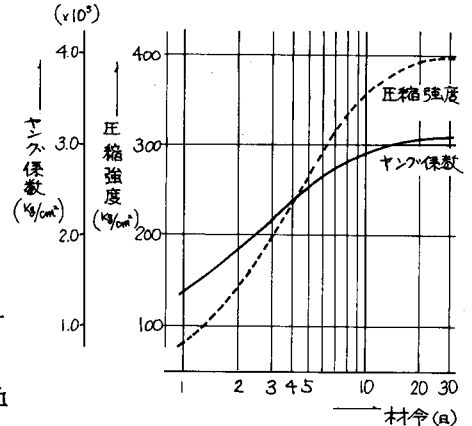


図-4 コンクリートの圧縮強度とヤング係数

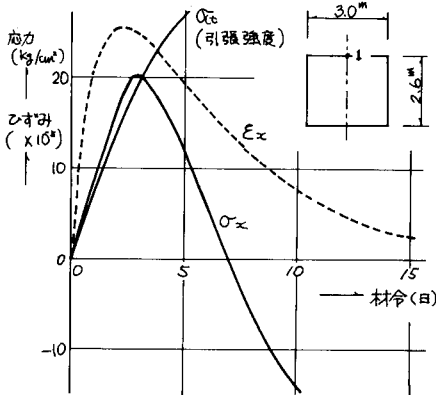


図-5 1点の応力およびひずみの履歴

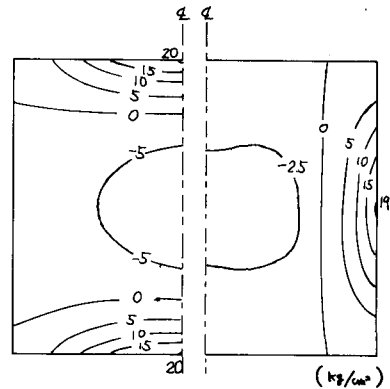


図-6 材令3日の応力分布

以上の結果より、ひずみのピーク値は材令2日で約 25×10^5 となり以後漸次減少する。一方応力は材令3日で約 20 kg/cm^2 となり以後減少し、ヤング係数が材令とともに増大するため、材令7日を過ぎると表面圧縮となる。また若材令におけるコンクリートの引張強度を圧縮強度の $1/10$ と仮定すると、図-5に示すとおり材令3日では 18 kg/cm^2 となり、ひびわれが発生する可能性がでてくる。

4. まとめ

本報告は検討の途中経過であり、解析では、型枠の拘束、スターラップの影響を無視している。また熱的性質材料定数など仮定が含まれるが、材令2〜3日で表面ひびわれが発生する可能性を示唆している。今後は若材令における高温状態でのヤング係数、引張強度の推定や境界条件など解析精度を高めることが必要である。またますます構造物が大型化するとともに、コンクリートは単位セメント量が増す方向にあるため、マスコンクリートとしての設計施工上の配慮が必要となる。