

コンクリートの蒸気養生時における伝熱解析

岐阜大学 学生員

Nguyen van Loi

岐阜大学 正会員

森本 博昭、小柳 治

1. はじめに

プレテンションPC部材において、蒸気養生時に鋼材とコンクリートの熱伝導率の違いから、鋼材とコンクリートの間に温度差が生じ、鋼材の熱膨張により硬化中のコンクリートに初期欠陥が生じ、その後のプレストレッシングによってひび割れが発生しやすくなることが考えられる¹⁾。本研究では、一次元及び二次元モデルによって熱伝導率の相違による鋼材とコンクリートの温度の経時変化について解析的に検討し、伝熱解析の結果によって鋼材とコンクリートの間に生じる温度差を求めた。それにより、鋼材とコンクリートの熱伝導率の差による、鋼材の周辺の初期ひび割れの可能性について考察した。

2. 解析方法

解析はプレテンションPCパイルの製造をモデル化し、鋼製の定着用端板からPC鋼材がコンクリート中に伸びる部分を取り出して行った。熱伝達において大気から鋼板の間に熱伝達率の影響があるばかりではなく、鋼棒とコンクリートの間の熱伝達率の影響があるが、解析プログラムの制限のため、二次元と一次元のモデルでの2段階に分けて解析を行った。二次元伝熱解析については、鋼棒が鋼板に取り付けられた部分を取り出した有限要素法によって解析を行った。鋼板の上方は硬化中のコンクリートであり、鋼板の下から蒸気による加熱が行われる。鋼板の厚さは5mm、鋼棒の直径は6mmとし、解析は軸対称問題であり、半径10mm、高さ100mmの範囲で行った。解析に用いた鋼材並びにコンクリートの熱特性の諸値は表-1に示す。熱伝導境界は鋼板の下面とし、熱伝達率は従来の検討を参考にして $300\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ とした。なお、解析時間を5分迄とし、この間を28ステップ（1ステップ10.8秒）に分けて解析を行った。分割は図-1に示す。解析の条件は、Case1とCase2は蒸気の温度がそれぞれ 60°C 及び 100°C である。なお、一次元解析（鋼材からコンクリートへの伝熱）については、図-2に示すようなモデルによって鋼材からコンクリートへの熱伝達の解析を行った。両者の結果を併せると、蒸気養生開始時の各部の温度の時間的な変化状況が明確となる。一方、二次元の解析の結果により、鋼材とコンクリートの最大の温度差の代表として4、2、 1°C の3レベルの温度差を選んだ。すなわち、鋼材の温度はそれぞれ $T+4$ 、 $T+2$ 及び $T+1^\circ\text{C}$ であり、コンクリートの温度は $T^\circ\text{C}$ を仮定とした。熱伝達率は従来の検討を参考にしてCaseAの場合は熱伝達率 $300\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ 、CaseBの場合は $200\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ とした。

3. 二次元の解析結果

図-3～5にCase2の2次元解析の結果を示す。時間の経過につれてコンクリートの温度が上昇するが、鋼棒の温度は常にコンクリートより高い。特に鋼棒の温度とコンクリートの温度差は加熱の初期に大きく、時間の経過につれて小さくなる。この図により、蒸気養生時に初期に供試体の中で鋼棒とコンクリート

表-1 鋼材とコンクリートの熱特性

	熱伝導率 (Kcal/m.hr. $^\circ\text{C}$)	比熱 (Kcal/kg. $^\circ\text{C}$)	単位体積重量 (kg/ m^3)
鋼材	39	0.111	7870
コンクリート	3	0.22	2300

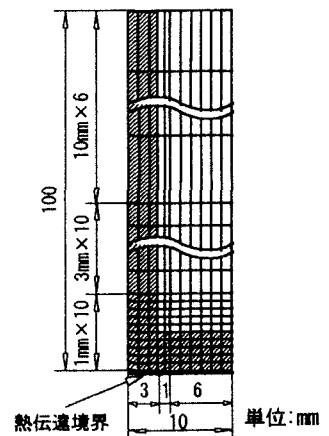


図-1 2次元解析のモデルの要素分割

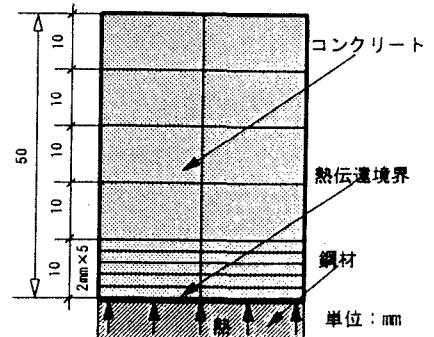


図-2 1次元解析のモデル要素分割

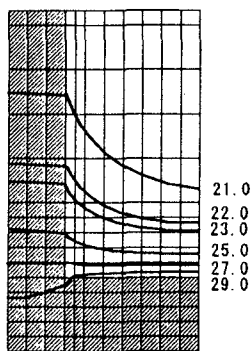


図-3 Case2の温度の分布(°C)
時間10.8秒

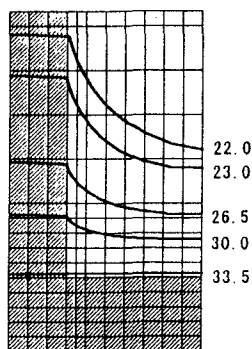


図-4 Case2の温度の分布(°C)
時間21.6秒

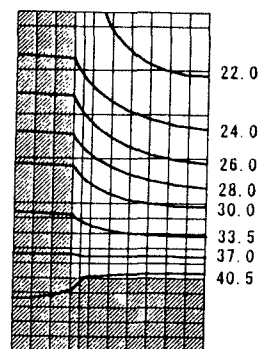


図-5 Case2の温度の分布(°C)
時間32.4秒

の温度差が発生する経過が明確になる。この温度差がにより鋼棒が膨張し周囲のコンクリートに引張応力が発生する。なお、図-6にCase2の全体の各位置の最大温度差を示す。なお、この位置での最大温度差は20秒で生じている。鋼板から離れるに従って温度差は一定に近くなり、また鋼板から5~8mmの位置で温度差が最大になる。鋼棒から5mmの位置でのCase1とCase2の最大温度差はそれぞれ1.9°Cと3.7°Cであった。

4. 一次元の解析結果

図-7にCaseBの場合の解析の結果を示す。この図は各位置のコンクリートの温度と経時変化である。コンクリート温度は時間的に上昇し鋼材とコンクリートの温度差が小さくなってゆく。とくに4mmまでの範囲で初期の変化が大である。

図-8はCaseBの鋼材及びコンクリートの境界面の温度差と経時変化の関係であり、鋼材とコンクリートの温度差の時間による変化状況が明らかとなる。初期の30秒でとれば、CaseAの場合は鋼材24°Cの場合は温度差が2.6°C、21°Cの場合は温度差が0.8°Cであった。なお、CaseBの場合はそれぞれ2.3°Cと0.6°Cであった。図-3~5に図-8を重ね合わせると、コンクリートの温度変化の概略がわかる。図-9に一例を示す。

参考文献：

- 1) 鈴木、小島、内田、小柳；プレテンションPC部材の定着部のひび割れについて、土木学会中部支部研究発表会講演概 p.615-616、H7.3、

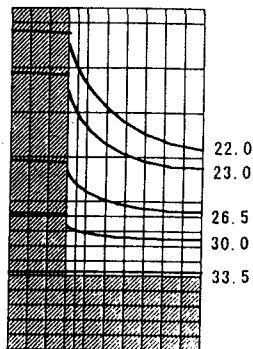


図-9 Case2の温度の分布(°C)
時間21.6秒

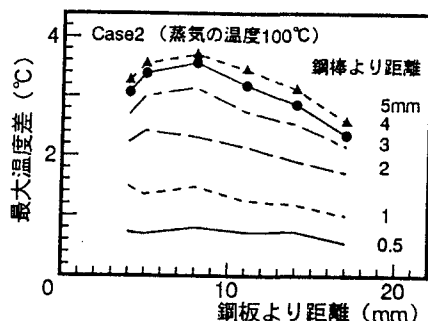


図-6 各位置の最大温度差

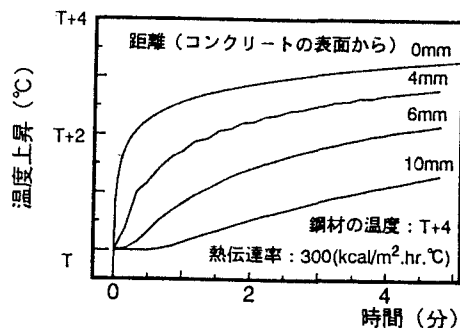


図-7 各位置の温度経時変化

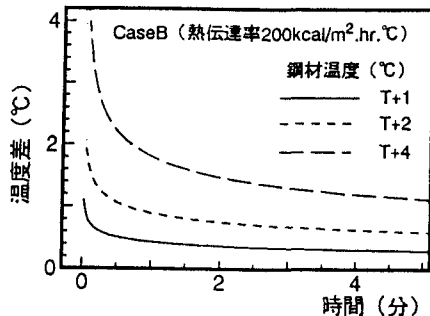


図-8 鋼材及びコンクリートの表面温度差