

V-212

熱赤外線画像を利用した境界条件設定方法に関する基礎研究

東京大学大学院 学生会員 山口明伸
東京大学生産技術研究所 正会員 魚本健人

1. はじめに

コンクリートの温度分布を解析によって求める場合、その解析精度に最も影響を及ぼす因子は、コンクリートの発熱特性と境界条件である¹⁾。特にコンクリート表面付近での温度分布に着目すると、境界条件によってその解析精度はかなり左右されるため、境界条件の設定には十分留意する必要がある。一般に温度解析を行う場合、境界条件として型枠の熱伝達率を使用する。しかしながら、熱伝達率の値は、型枠の材質、表面状態、気象条件等によって異なる値となるためその測定や予測を行うことは極めて困難である。

そこで本研究では、型枠外面の熱赤外線画像を用いて、コンクリート養生中の境界条件を従来よりも正確に設定することを行い、それによる温度解析の精度を向上させることを試みた。

2. 実験概要

実験に使用したコンクリートの配合は、表-1に示すように単位セメント量を300、350、400、450kg/m³とした4種類である。各配合の発熱特性は、断熱温度上昇試験により計測した。試験体は、赤外線撮影装置で計測を行う1面のみを残し、残りの5面には型枠の内側に発泡スチロールを張り付け断熱状態を模擬した。型枠には鋼製型枠、合板の2種類を使用した。また、試験体内部の9カ所に熱電対を配置した。試験体の概要を図-1に示す。

表-1 配合

セメント	単位量(kg/m ³)			W/C (%)	S/a (%)
	水	細骨材	粗骨材		
300	170	893	938	59	49
350	170	813	1016	50	45
400	169	808	905	44	47
450	168	775	943	29	46

3. 境界条件の設定

コンクリートと型枠および外気との熱移動の概念図を図-2に示す。図のようにコンクリートと型枠の間には、固体間の非接触熱抵抗が存在し、型枠内部では熱伝導、型枠外面と外気の間では熱伝達が生じている。ところが図中に示すとおり従来の温度解析では、型枠と外気の熱伝達のみを考慮しており、しかもその熱伝達率も経験的なものである場合が多い。そこで、熱赤外線画像によって計測した型枠外面の温度を利用して、これらの境界条件を実際に即して表現することを試みた。

(1) 型枠の熱通過率

コンクリートと型枠間の非接触抵抗および型枠内の熱伝導による熱の移動、すなわち型枠の熱通過特性は、型枠の熱通過率として次式のように表すことができる²⁾。

$$U = (T_f - T_{fi}) / (T_c - T_{fi}) \quad (1)$$

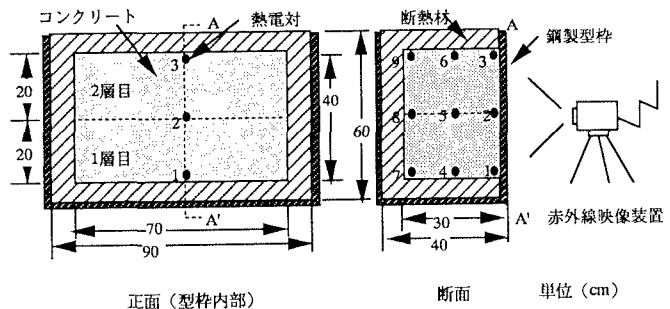


図-1 試験体の概要

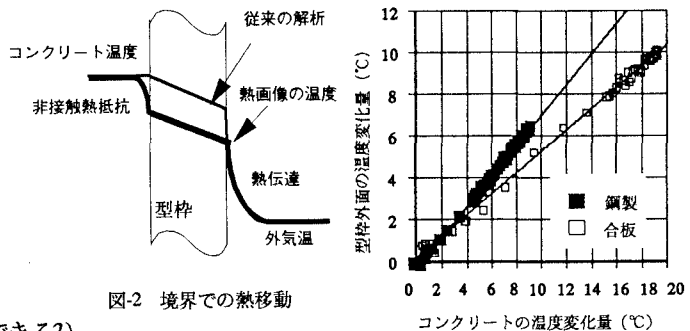


図-2 境界での熱移動

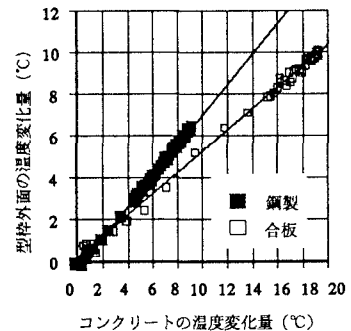


図-3 型枠の熱通過率

ここに、 U ：型枠外面までの熱通過率、 T_f ：熱画像による型枠外面の温度（℃）、 T_{fi} ：コンクリート打設前の型枠の温度（℃）、 T_c ：型枠内部のコンクリートの温度（℃）である。

図-3に熱電対による型枠背面のコンクリートの温度変化量と、熱画像による型枠外面の温度変化量の関係を示す。鋼製型枠、合板型枠ともにその関係はほぼ一定であり、この直線の傾きが熱通過率となる。即ち、今回使用した鋼製型枠と合板型枠の熱通過率はそれぞれ0.8、0.51となった。なお、熱通過率は、型枠の材質、厚さ、表面の粗さ等に依存するものであり、同一の型枠を用いる場合には一定値を用いてよいものと考えられる。

（2）熱伝達率

温度解析に使用する熱伝達率は、過去の文献または、ほぼ水和が終了した時点でのコンクリート断面の温度分布により決定される。しかしこのように設定した熱伝達率を全解析期間を通じて一定値とすると、若材令時、つまり水和反応加速期間および減速期間の初期における解析結果の精度が悪くなる。これは、熱伝達率の値がコンクリート断面の温度勾配の影響を受けるためと考えられる。従って、熱伝達率はコンクリート断面の温度分布に従って経時的に変化させる必要がある。温度勾配はコンクリートの発熱速度に影響されるとため、発熱速度に応じて熱伝達率を変化させるを試みた。図-4に熱伝達率の経時変化を示す。

以上のように設定した境界条件を用いて、温度解析を行った結果の一部を図-5に示す。また、使用した熱定数を表-2に示す。図のように境界条件を實現象に則して解析を行った場合、その解析精度を向上させることができた。

4. まとめ

コンクリート養生中の型枠外面の熱画像を用いることにより、使用した型枠の熱通過率を求めた。また、熱伝達率の値をコンクリートの発熱速度に対応して経時的に変化させることにより、コンクリートの温度解析を行う場合の境界条件を従来よりも實現象に則して設定することができた。その結果、温度解析の精度は、特に若材令時においてかなり向上することが分かった。従って、コンクリートの温度分布を解析により推定する場合境界条件の設定がかなり重要であり、その測定に赤外線法は有効であることが分かった。

謝辞：本研究を行うにあたり、尻無浜公人君（芝浦工業大学）の多大なる御協力を得ました。ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- （1）マスコンクリートの温度応力研究小委員会：マスコンクリートの温度応力発生に関するコロキウム、日本コンクリート工学協会、1982.9
- （2）渡部 正：サーモグラフィ法によるコンクリート施工のモニタリングシステムに関する研究、博士論文、1994

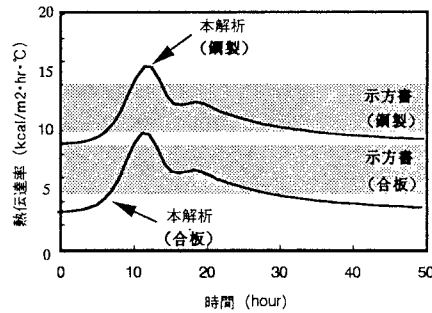


図-1 試験体の概要

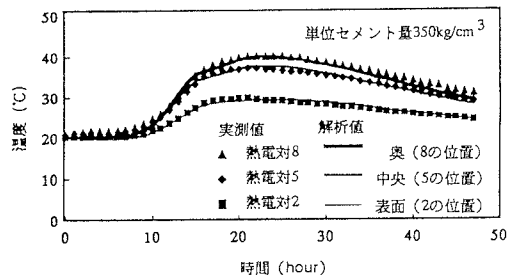


図-5 温度解析結果（鋼製）

表-2 熱定数

	コンクリート	鋼製	合板
熱伝導率(kcal/mm s°C)	6.7×10^{-7}	1.92×10^{-5}	2.03×10^{-8}
比熱(kcal/kg °C)	0.27	0.105	0.309
密度(kcal/mm ³)	2.3×10^{-6}	7.85×10^{-6}	4.40×10^{-7}