

型わく外面の熱赤外線画像によるコンクリートの打込み管理手法に関する基礎研究

渡部 正*・魚本健人**

本研究は、コンクリート打込み時に、型わく外面の温度変化パターンを赤外線カメラで熱赤外線画像として計測し、その打込み状況、締固め状況をリアルタイムで検出する方法を提案したものである。そして、実験により、コンクリートの打上がり状況や模擬した空隙、豆板の欠陥が検出できることを明らかとした。さらに、検出するのに必要なコンクリートと型わくの最小温度差や検出に要する時間、および、計測条件等についての検討を加えた。

Keywords : concrete placing, consolidation, monitoring method, form, thermography.

1. はじめに

著者らは、型わく内でのコンクリートの打上がり状況、締固め状況を、型わく外面の熱赤外線画像を計測することによって非接触かつリアルタイムで検出する手法についてすでに提案した¹⁾。本論文では、さらに、型わく材質の影響に関する実験結果について述べるとともに、コンクリート打込み状況の検出時間や検出精度についての定量的な検討を加えたものである。

コンクリート構造物を施工する際の型わく内へのコンクリートの打込みは、硬化後の構造体品質に対して極めて大きな影響を及ぼす重要な作業工程である。しかしながら、現状におけるコンクリートの打込み管理および締固め管理は、現場技術者の経験的判断によって行われており、その善し悪しは、型わくを脱型した後にコンクリート表面を目視で観察するか、あるいは、非破壊検査等によって内部を調査しなければ判断できない。すなわち、コンクリートの打込み不良に起因する豆板、空隙等の欠陥は、型わくを脱型した後でなければ発見できないのが現状である。

一方、鋼コンクリート合成構造あるいはプレキャスト型わく内へ打込まれたコンクリートでは、その充填状況を硬化後においても確認することはできない。また締固め不要コンクリートを打込む場合においても、その充填性評価は型わく脱型後でなければ行えない。

一般に、コンクリート構造物における検査は、所要の品質を満たしているか否かを調査する竣工時検査や、維持管理のための検査および耐久性を評価するための検査等は実施されているが、施工時の検査はあまり行われていないといえる。

本研究は、このような観点を踏まえ、コンクリートの施工管理の内の重要な一つである、打込み管理、締固め管理を行うための一手法について提案したものである。

2. 本手法の概要

赤外線カメラは、物体の温度変化パターンを非接触で計測することができるため、各種産業分野での利用例が多い^{2),3)}。建設分野では、建築構造物外壁のタイルあるいはモルタルの剝離検査、住宅の熱・空調設計、および、吹付けのり面背面の空洞調査等に利用されている²⁾⁻⁴⁾。

本研究でのコンクリート打込み状況の検出原理は、型わく温度と打込まれるコンクリートとの温度差に着目し、コンクリートが打込まれることによって型わく外表面の熱赤外線パターンが変化するという現象に基づくものである。つまり、通常、型わく温度は外気温にはほぼ一致しており、打込まれるコンクリートの温度はトラックアジテータ車の運搬等により外気温より高くなる。そのため、コンクリートを型わく内へ打込むと、コンクリートが接した部分の型わく温度は、コンクリートの温度へと近づこうとする。そこで、型わく外表面の温度変化パターンを熱赤外線画像として計測することにより、コンクリートの打上がり状況、締固め状況が非接触で検出できることになる。

3. 実験概要

実験に使用した型わくは、写真-1に示すように、高さ60 cm×幅90 cm×奥行き10 cmであり、片面を厚さ2 mmの鋼製型わくあるいは厚さ10 mmの合板型わくとし、反対側の面を透明アクリル板とした。実験は、図-1に示したように、コンクリートを型わく内に打込んでいる時の型わく外面の温度変化パターンを熱赤外線画像として計測することによって行った。また、実際の打込み状況を可視像で得るため、透明アクリル板側をビデオ

* 正会員 前田建設工業(株)技術研究所主任研究員
(〒179 東京都練馬区旭町1-39-16)

** 正会員 工博 東京大学生産技術研究所助教授

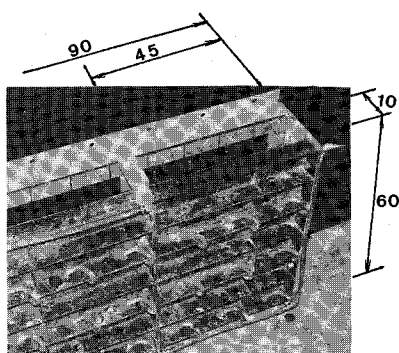


写真-1 実験に使用した型わくの外観

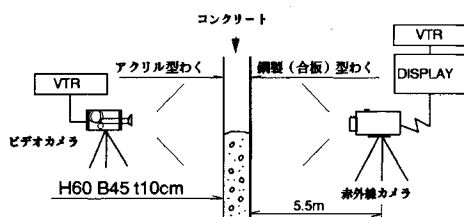


図-1 実験方法

表-1 使用した赤外線カメラの仕様

測定温度範囲	0~1500℃
赤外線検知器	電子冷却HgCdTe16素子
検知波長帯	3~5μm
最小検知温度差	0.5℃*
フレームタイム	0.05秒
瞬時視野	2mrad

*画像加算回数をn回とすれば、最小検知温度差は、 $(0.5/n^{1/2})$ ℃となる。
今回の実験では、n=16回として計測しているので最小検知温度差は、0.125℃となる。

で撮影した。使用した赤外線カメラの仕様は、表-1に示したとおりである。

実験模型は、写真-1に示した型わくを2分割して高さ60cm×幅45cm×奥行き10cmの寸法とし、図-2に示した4種類とした。実験方法の詳細を以下に記す。

No.1模型は、コンクリート打込み時に生ずる欠陥として、φ20cmの塩ビ管で空隙を模擬したものであり、コンクリートの打込みは、スランブフローが60cmの水中不分離性コンクリートを締固めを行わないで連続的に行った。

No.2模型は、コンクリートの材料分離あるいは締固め不良による豆板を模擬したものである。1層目はスランブ18cmの普通コンクリートを締固めを行って打込み、豆板はコンクリートと同じ温度となるよう、同一バッチのコンクリートを5mmフルイでウェットスクリーニングした粗骨材を締固めを行わないで打込んだ。3層目は1層目と同様にしてコンクリートを打込んだ。

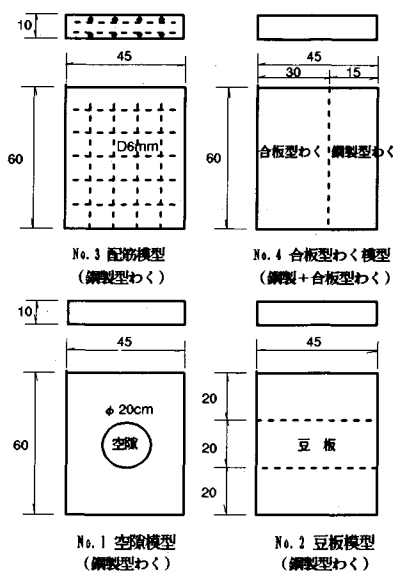


図-2 実験模型の形状・寸法（単位cm）

No.3模型は、縦横10cmピッチにD6mmの鉄筋をかぶり25mmとして配筋したものであり、コンクリートは、スランブが6cmの普通コンクリートを2層に分けて各層締固めを行って打込んだ。

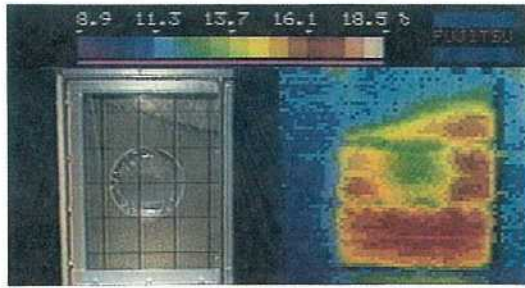
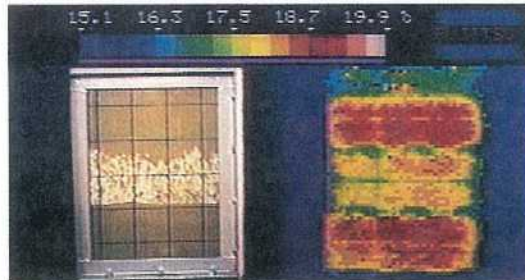
No.4模型は、鋼製型わくの左30cmの部分を合板型わくにして、スランブフロー60cmの水中不分離性コンクリートを締固めを行わないで連続的に打込んだ。

コンクリートの粗骨材最大寸法は、いずれの配合でも20mmとし、水セメント比は、普通コンクリートの場合には50%、水中不分離性コンクリートの場合には60%とした。コンクリート打込み時の温度は、型わく温度よりも高くなるようにし、打込み直前にそれら温度を測定した。その結果、コンクリート温度は型わく温度よりも5~10℃高かった。

4. 実験結果

各実験模型における、コンクリート打込み中あるいは打込み後の熱赤外線画像と可視像を写真-2~写真-5に示した。写真の右側は鋼製型わく面あるいは合板型わく面で熱赤外線画像であり、左側がその反対側から撮影したアクリル型わく面での可視像である。

熱赤外線画像の計測は、コンクリート打込み前から打込み終了までの温度変化パターンを観察できるように、測定温度幅の下限温度は型わく温度より若干低くし、上限温度はコンクリート温度より若干高くなるようにして行った。カラー表示数は、その数が多いと目視での温度変化の認識が明確に行えなくなると考え、ここでの実験は16色表示とした。したがって、1色当たりの温度幅（温度ステップ）は、上限温度から下限温度を差し

写真一2 No.1 空隙模型での可視像と熱赤外線画像
(コンクリート打込み途中)写真一3 No.2 豆板模型での可視像と熱赤外線画像
(コンクリート打込み終了直後)

引いてカラー表示数16で除した値となる。また、画像加算回数は16回とした。放射率は、物体の性質や表面状況によって異なる値を設定する必要があるが、ここでは、熱電対によって型わく表面温度を測定し、その値を用いて放射率0.96とした。

以下、型わく内のコンクリートの打上がり状況や模擬した欠陥が、熱赤外線画像によりどのように検出できるかを、模型実験の結果に基づいて述べる。

(1) 空隙模型

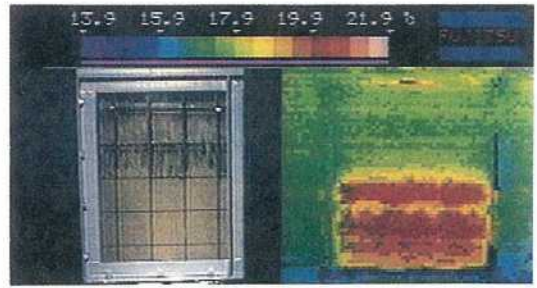
写真一2は、空隙を有するNo.1模型での打込み途中での計測結果である。この時の鋼製型わくの温度は 9.0°C 、コンクリートの温度は 19.5°C であり、熱赤外線画像の計測は温度ステップ 0.6°C として行った。

写真からもわかるように、熱赤外線画像では、コンクリートが充填されている部分が高温となっており、打上がり面の高さや勾配は可視像と良い対応を示している。そして、欠陥を模擬した $\phi 20\text{ cm}$ の空隙の部分、その周辺のコンクリート部分より約 5°C 温度が低く表れており、空隙の位置や大きさが明確に認識可能である。

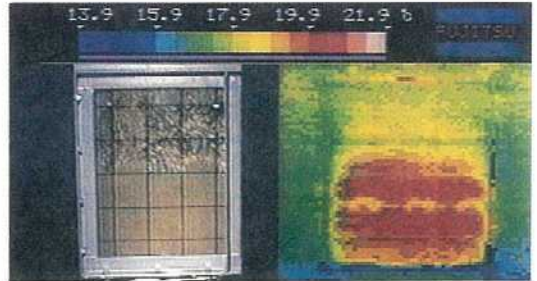
なお、コンクリートと型わくの温度差が 3.4°C と、ここでの実験より小さい場合においても、今回の結果と同様に空隙の検出が可能であった¹⁾。

(2) 豆板模型

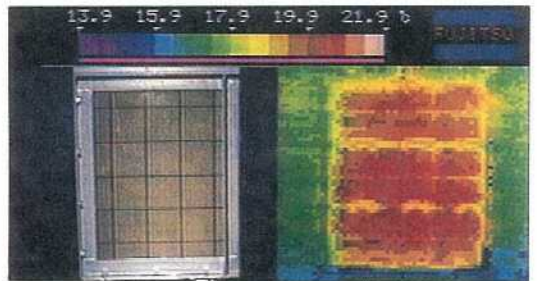
写真一3は、型わく中央の高さに厚さ約 20 cm の豆板を有するNo.2模型での、打込み終了直後の計測結果で



(a) 1層目のコンクリート打込み後



(b) 2層目のコンクリート投入後



(c) 2層目のコンクリート締め後

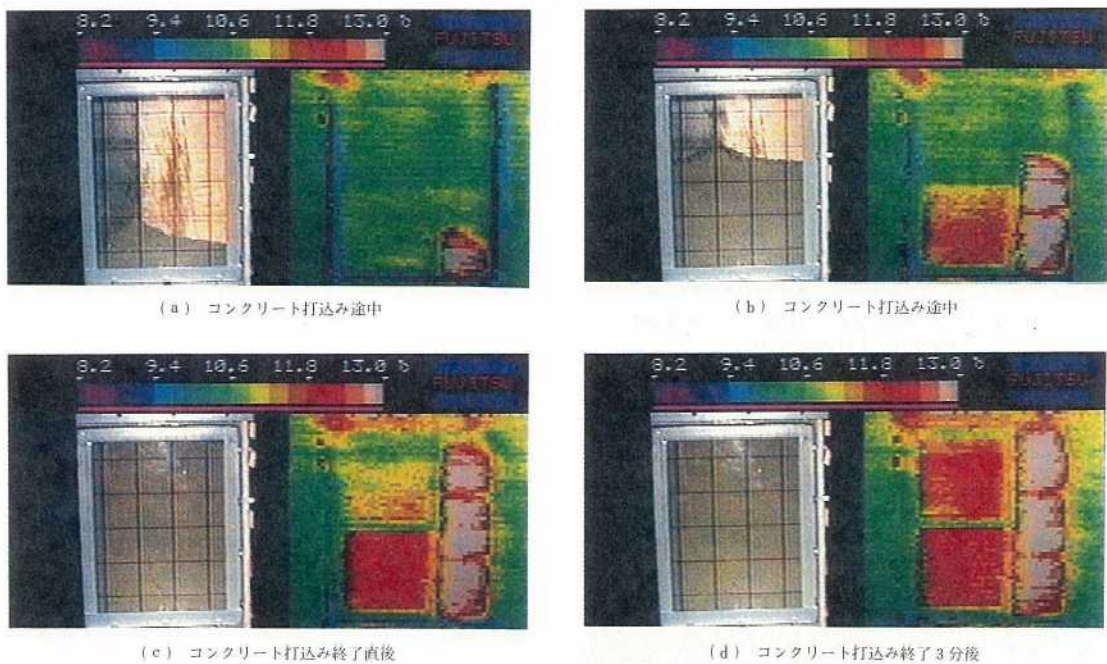
写真一4 No.3 配筋模型での可視像と熱赤外線画像

ある。この時の鋼製型わくの温度は 16°C 、コンクリートの温度は 21°C であり、熱赤外線画像の計測は温度ステップ 0.3°C として行った。

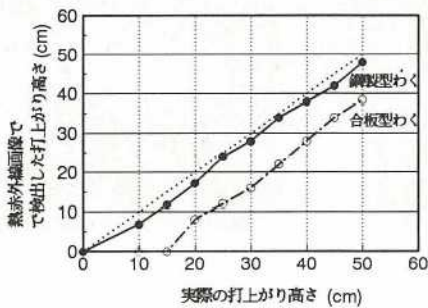
写真からわかるように、コンクリート部分に比べて豆板の部分は温度が低く計測されており、その大きさもほぼ一致している。豆板部分の温度が低いのは、型わく面に粗骨材が点状で接触しており、流動体として型わくに接触しているコンクリートの部分に比べて、熱が型わくに対して均一に伝達しておらず、そのため、全体としての平均温度が低くなるためであると判断される。

(3) 配筋模型

写真一4は、配筋を有するNo.3模型での計測結果である。この時の鋼製型わくの温度は 15°C 、コンクリートの温度は 21°C であり、熱赤外線画像の計測は温度ステップ 0.5°C として行った。写真(a)は1層目の締めを行った直後の計測結果であり、(b)は2層目を打



写真—5 No.4 合板型わく模型での可視像と熱赤外線画像



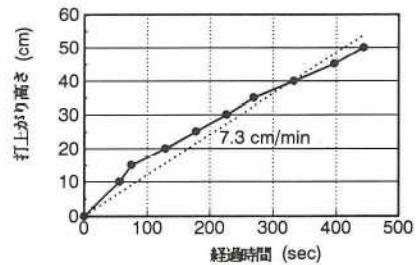
図—3 鋼製型わくと合板型わくにおけるコンクリート打上がり面の検出度 (No.4 模型)

込んだ直後、(c) はそれを締めた後の計測結果である。

写真 (b) の可視像からわかるように、ただ単にコンクリートを型わく内に打込んだだけでは、鉄筋の影響により、かぶり部分に空隙が生じて充填されない。そのため、その時の型わく面の温度分布は熱赤外線画像からわかるように、打込み前の (a) とほとんど同一である。しかし、締めを行った後は、(c) の如く型わく温度が1層目と同一となり、かぶり部分にコンクリートが充填されたことが明確に認識できる。

(4) 合板型わく模型

写真—5 は、合板型わくと鋼製型わくを併用した No.4 模型におけるコンクリート打込み中、打込み後の計測結果である。この時の型わくの温度は10℃、コンクリートの温度は15℃であり、熱赤外線画像の計測は



図—4 No.4 模型におけるコンクリートの打上がり速度

温度ステップ0.3℃として行った。

これらの写真から明らかなように、鋼製型わく面の温度変化によるコンクリートの検出は、実際のコンクリート打上がり高さと比較的良好に対応に示している。しかしながら、合板型わくでは鋼製型わくと比較して、コンクリートの打上がり高さの面を検出するのに長い時間を要しており、コンクリートの熱が型わく外面まで伝達する時間に相違が認められる。

図—3 は、合板型わく面と鋼製型わく面における、実際のコンクリート打込み高ささと熱赤外線画像により検出した打込み高さとの関係を示したものである。熱赤外線画像によるコンクリートの打込み面の位置は、鋼製型わくの場合には、画像での温度変化が非常に早く、高温部へ変化する時を特定できなかったため、温度が定常となった時を目視で判断した。合板型わくの場合には、画像での温度変化が緩慢であったため、高温部へ変化し始

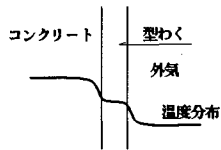


図-5 型わく温度が定常状態となった以降の温度分布の模式図

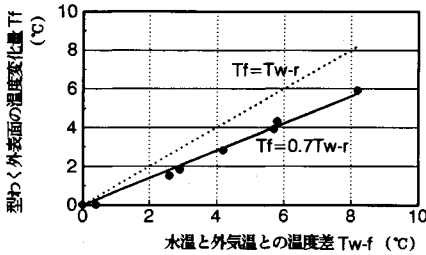


図-6 鋼製型わく内の水と外気温の差が型わく外表面の温度変化量に及ぼす影響

めた時点を目視で判断した。

図より、鋼製型わくでは1~4 cm, 平均2.3 cm 実際のコンクリート打込み高さより低く検出されている。一方、合板型わくでは、10~14 cm, 平均12.4 cm 実際のコンクリート打込み高さより低く検出されている。この模型でのコンクリートの打上がり速度は、図-4に示したように、平均7.3 cm/minである。そこで、これらの値より、実際のコンクリートの打上がり面を赤外線画像で検出するまでの時間を求めると、鋼製型わくでは8~33秒, 平均20秒, 合板型わくでは82~115秒, 平均100秒となる。

5. コンクリート打込み状況の検出感度および精度に関する検討

(1) コンクリート打込み状況を検出するために必要な型わくとの最小温度差および計測条件

型わく内にコンクリートを打込むと、図-5のように、コンクリート、型わくおよび外気の温度分布は、熱工学における熱通過と同様⁵⁾それらの境界層で変化するものと考えられる。そのため、コンクリートの温度が型わく温度よりある一定量以上高いか、低くなければ、型わく外表面の温度が変化せず、コンクリートの打込み状況を熱赤外線画像で検出できないことになる。

図-6は、厚さ0.5 mmの鋼製型わくに外気温より0~8°C高い水を入れて、その型わくの温度が定常状態となったと思われる1分後の水温と型わく外表面の温度差を熱電対により測定した結果である。図からわかるように、型わく外表面は、水温と外気温の差のほぼ70%に相当する温度となっている。物体から物体への伝熱は、熱伝導によるものであり、それは温度分布(温度勾配)

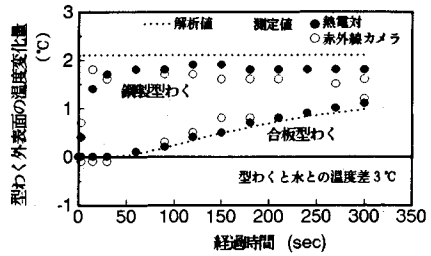


図-7 型わく外表面の温度変化

によってのみ定まるため⁶⁾、型わく内に入れた水が静止している場合の型わくへの熱伝達特性は、コンクリートを充填した場合と同一であろうと考えられる。また、型わくの厚さが異なると、温度伝達時間はそれに比例して長くなるが、温度が定常状態となった以降であれば、内面から外面へ伝達する温度は同一であろうと考えられる。

したがって、熱赤外線画像にてコンクリートの打込み状況を検出できるコンクリートと型わく外表面の最小温度差は、熱赤外線画像にて温度の変化が目視で識別できる量の1/0.7=1.4倍となる。すなわち、0.1°Cの温度変化を画像で識別できる場合には、理論的にはコンクリートと型わくの温度差が0.14°C以上あれば、型わく外表面の温度が0.1°C以上変化し、コンクリートの打込み状況を検出できることになる。

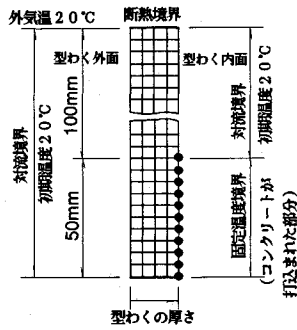
ただし、合板型わくの場合には、図-3および後述する図-7に示すように、型わく外表面まで熱が伝達するのに時間を要し、300秒経過しても定常状態とはならないため、検出できる最小温度差というよりも、温度差がいくらの時にどの程度の経過時間時に検出できるかが重要であると考えられる。これらについては、次節で述べる。

上述のように、熱赤外線画像にて温度の変化が識別できる量は、検出精度に対して重要である。すなわち、温度変化を、画像の色の変化として目視で、かつコンクリート打込み時にリアルタイムで判断する必要があるため、計測時に設定する温度ステップ幅に相当する量の温度変化が、明確に識別できることが重要である。したがって、画像での表示色数が多いほど温度変化の識別が不明確になるといえ、温度変化を明確に判断する上ではあまり表示色数を多くするのは得策ではないと考えられる。

(2) コンクリート打上がり面の検出時間

前章で述べたように、鋼製型わくと合板型わくとは、コンクリートの打上がり高さを検出するのに要する時間に相違が認められた。これは、型わくの材質に起因する熱伝導率の違い、型わくの厚さの違い等によるものと考えられる。

図-7は、鋼製型わくと合板型わくにおいて、その中



図—8 熱伝導解析モデル

表—2 熱伝導解析に使用した定数

	鋼製	合板
厚さ (mm)	2	10
熱伝導率 (Kcal/mm s °C)	1.92×10^{-6}	2.03×10^{-6}
比熱 (Kcal/kg °C)	0.105	0.309
密度 (kg/mm ³)	7.85×10^{-6}	4.40×10^{-7}
熱伝達率 (Kcal/mm s °C)	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}

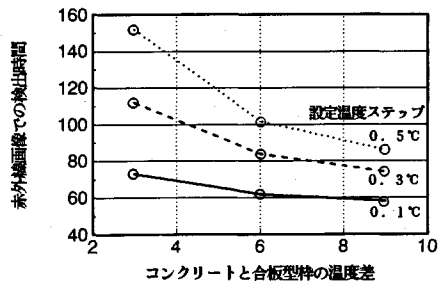
に型わく温度より3°C高い水を入れた時の型わく外表面の温度の経時変化を熱電対と赤外線カメラ（画像加算回数16回としたスポット測定）で計測した結果を示したものである。また、図中には、有限要素法を用い、下式の基礎方程式で示される非定常熱伝導解析⁷⁾により求めた結果も示した。

$$[C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = \{Q\}$$

- ここに、[C]：熱容量マトリックス
- {T}：節点温度ベクトル
- { \dot{T} }：時間に関して微分したもの
- [K]：熱伝導マトリックス
- {Q}：熱流束ベクトル

なお、型わく外表面の温度は、図—5、図—6に示したように、外気の影響を受ける境界域の温度を測定していることになり、このような状況は空気層の厚さも考慮した解析を行う必要がある⁸⁾。しかしながら、このような解析は繁雑であるとともに、解析値と実測値とが対応する位置を特定することができないと考えられる。そこで、今回は、図—6に示した実験式を使用して、解析で求めた表面温度に0.7を乗じた値を型わく表面温度とみなすことにした。解析モデルは図—8に、使用した定数は表—2に示すとおりとした。

図—7より、鋼製型わくの場合には、解析の上では水が型わくと接した0.08秒後に型わく外表面の温度が0.3°C上昇し、2秒後に2.1°Cまで上昇して定常状態となっている。測定値が定常状態となる時間は15~30秒後であり、温度上昇量は約1.9°Cとなっている。合板型わくの場合には、測定値と解析値はほぼ一致している。



図—9 合板型わくにおけるコンクリートの検出時間（型わくとコンクリートの温度差が異なる場合）

しかし、鋼製型わくの場合とは傾向が異なっており、水を入れて約50秒経過してから温度の上昇が始まり、0.3°C上昇するのに90~120秒を要しており、その後も徐々に上昇して、300秒経過してもまだ定常状態になっていない。

このように、鋼製型わくの場合、理論的には温度ステップ0.3°Cとして計測するとコンクリート打込み後0.08秒で検出できる。しかしながら、その前後の時点は温度変化量が大きいため、前述の如く画像での判断が難しい。また、赤外線カメラの感度および設定する画像加算回数等による時間差を考慮すると、現実的にはその時間で検出するのは不可能であると考えられる。したがって測定した温度が定常状態を示す15~30秒後での判断が確実性に富んでおり、かつ、熱赤外線画像で明確に検出できるといえ、この時間は3.(4)での実験結果とほぼ一致している。

また、合板型わくの場合には、コンクリート打込み後約50秒経過しないと型わく外表面の温度が変化せず、その存在を熱赤外線画像で検出には最低それ以上の時間を要することを示している。そして、温度ステップ0.3°Cとして計測した場合には、コンクリート打込み後90~120秒で検出できるといえ、3.(4)での実験結果とほぼ一致している。

図—9には、図—8のモデルを使用して、コンクリートと合板型わくの温度差（3, 6, 9°Cの場合）と、熱赤外線画像によってコンクリートの存在を検出するのに要する時間との関係性を求めた結果を示した。このように、型わくとコンクリートの温度差が大きいほど検出時間が短くなり、0.1°Cの温度変化を画像で識別できる計測条件の場合には、温度差が8°C以上であればコンクリート打込み後60秒以内でその存在を検出することができることになる。

以上のように、型わく外表面の熱赤外線画像を計測してコンクリートの打込み状況を検出する本手法は、使用する型わくの種類あるいはコンクリートとの温度差の違い等により、検出に要する時間が異なる。しかしながら、これらの施工条件を考慮した事前の解析によって、検出

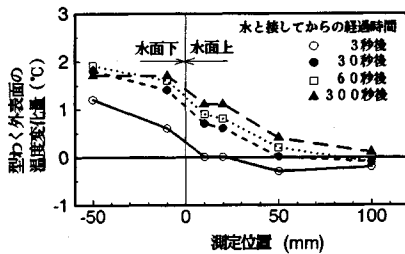


図-10 鋼製型わく外表面の温度分布

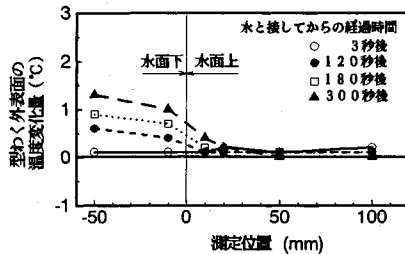


図-11 合板型わく外表面の温度分布

に要する時間を予測し、必要な計測条件を選定することが可能である。したがって、このような手順を踏まえて計測を実施することが、コンクリート打込み状況を検出して管理するのに有用であるといえる。

(3) 検出できる空隙の寸法

図-10、図-11は、鋼製型わく内と合板型わく内にそれより3°C温度が高い水を入れ、水面の境界を挟んだ高さ方向の型わく外表面の温度分布を熱電対で測定した結果を示したものである。図-10より、鋼製型わくの場合には、水を入れた直後から水面下10mmの位置と水面上10mmの位置との間で約0.6°Cの温度差が生じており、それは300秒経過後もほぼ同一となっている。また、合板型わくの場合には、図-11のように、温度差は時間の経過とともに徐々に大きくなっており、180秒後には鋼製型わくの場合と同様約0.6°Cとなっている。

これらの結果を用い、水面を、コンクリートと空隙の境界とみなし、その境界が熱赤外線画像でどの程度の誤差で判別できるかを検討する。鋼製型わくの場合には、コンクリート打込み直後からコンクリートに接していない部分と接している部分との温度差が明確に現れるため、その温度差以下の温度ステップとして熱赤外線画像を計測すれば空隙の認識は可能であるといえる。すなわち、水面の上下20mm間で0.6°Cの温度差が生じていることから判断すると、コンクリートと型わくの温度差が3°Cの場合には、温度ステップを0.6°C以下として測定すれば、少なくとも誤差20mm以内で空隙とコンクリートとの境界層を識別できるものと考えられる。なお、

実際の空隙部分の型わくは、周辺コンクリートの影響により、時間の経過とともに上昇するものと考えられるが、この影響が少ない空隙の生じた直後であっても、上記した誤差の2倍以上の直径でないと検出できないことになる。

一方、検出できる空隙寸法は、上記のような計測時の温度ステップの設定条件に加え、計測距離および使用する赤外線カメラの画像解像度と密接な関係がある。これは、赤外線カメラでは計測距離が長くなると瞬時視野の面積がそれに依じて大きくなるため、温度差を識別できる面積の範囲も大きくなるからである。

また、合板型わくの場合には、コンクリートと接していない部分との温度差は一定時間以降から徐々に増加する傾向を示すため、空隙を検出するためには、検出したい時間に応じた温度差以下の温度ステップで計測する必要があるといえる。

以上のことを考慮して、今回使用した赤外線カメラを用い、計測距離を5.5mとしたコンクリートによる模型実験を実施した結果、 $\phi 22$ cm, $\phi 11$ cm, $\phi 5$ cmの空隙が検出できた¹⁾。これらの結果から、本手法で検出できる最小空隙寸法は、計測距離、使用する赤外線カメラの画像解像度によって異なるが、今回使用した赤外線カメラでは、計測距離を5.5mとすれば $\phi 5$ cmの空隙が検出できる。この寸法は、バタ材等の支保工の寸法が5cm程度であることを考慮すると、検出できる空隙の最小寸法は実用的には十分満足できるものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、型わく内へのコンクリート打込み管理および締固め管理をリアルタイムで行うための一手法として、型わく外表面の熱赤外線画像の変化に着目してその適用性について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 型わく内へのコンクリートの打込み状況は、型わく外表面の熱赤外線画像を計測することにより検出できる。実験結果によると、鋼製型わくの場合、検出するのに必要な型わくとコンクリートの最小温度差は、熱赤外線画像にて温度変化を認識できる量の約1.4倍である。すなわち、温度ステップを0.1°Cとして計測する場合には、他の条件が今回の実験と同一であるならば、コンクリートと型わくの温度差が0.14°C以上であれば打込み状況を検出できる。

(2) 鋼製型わくの場合には、コンクリート打込み後の型わく外表面の温度は約15~30秒で定常状態になるため、その時間差でコンクリートの打上がり面を正確に検出することができる。

(3) 合板型わくの場合には、鋼製型わくに比べてコンクリートの打込み状況を検出するまでに要する時間が

長く、今回の実験では約 100 秒であった。この検出時間は、計測条件や型わくとコンクリートとの温度差によって異なるが最低でも 50 秒は要する。

(4) コンクリート打込み時に生ずる空隙や豆板の検出が可能であり、締固め不良の箇所が検出できる。その検出できる最小寸法は、計測条件と熱赤外線画像の解像度によって相違するが、直径 5 cm 程度以上は検出可能であり、パタ材等の支保工の寸法を考慮すると実用的には十分な寸法であると判断される。

以上、従来より、現場技術者の経験的な判断に委ねられていたコンクリートの打込み管理、締固め管理を、本手法を適用することにより、型わく外部から非接触で定量的に行うことができることが明らかになった。

謝 辞：本研究を実施するに当たり、東京大学大学院生関口司氏に多大なる助力を頂いたことを記し、謝意を

表します。

参 考 文 献

- 1) 魚本・渡部・関口：赤外線放射温度計によるコンクリートの打込み監視システムの研究, 生産研究, Vol. 43, No. 5, 1991. 5.
- 2) 日本写真測量学会編：熱赤外線リモートセンシングの技術と実際, 鹿島出版会, 1986 年.
- 3) フジ・テクノシステム編：センサ実用便覧, フジ・テクノシステム, 1985 年.
- 4) 小林一輔編集：コンクリート構造物の非破壊検査, 森北出版, 1990 年.
- 5) 日本機械学会編：機械工学便覧 A 6 熱工学, 日本機械学会, 1986 年.
- 6) 甲藤好郎：伝熱概論, 養賢堂, 1977 年.
- 7) 矢川元基：流れと熱伝導の有限要素法入門, 培風館, 1983 年.

(1991. 5. 17 受付)

FUNDAMENTAL STUDY ON REAL TIME MONITORING OF CONCRETE PLACING BY THERMOGRAPHY

Tadashi WATANABE and Taketo UOMOTO

This paper proposes a practical monitoring method of concrete placing, from out side of the forms, using an infrared radiometer and distinguishing the discrepancies of temperature at the surface of the forms.

With the help of the experimental results the height of the casting concrete can be shown easily, and the defects of concrete, caused by poor consolidation, such as voids and honeycombs, can also be detected clearly. The minimum discrepancies in temperature required between concrete and forms for detection is above 0.14°C. Time required for detection may differ according to the type of the forms, discrepancies in temperature between concrete and forms and the conditions at the time of measurement. By the help of the apparatus, used in this experiment, the average delay in time required to record the rise of concrete level is 20 seconds for metal forms and 100 seconds for plywood forms.