

V-PS 1 赤外線放射温度計によるコンクリートの打込み管理手法に関する研究

前田建設工業(株)技術研究所 正会員 渡部 正
 東京大学大学院 学生会員 関口 司
 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。しかしながら、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。

本研究では、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リアルタイムで監視する手法について提案したものである。すなわち、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面の温度パターンが変化する現象を熱赤外線画像として計測して、打込み状況を検出する方法である。

2. 実験方法

実験は、図-1に示すように、通常のメタルフォーム型わく(高さ60cm×幅45cm×奥行10cm)にコンクリートを打込み、その時のメタルフォーム外面の熱赤外線画像を計測することによって行った。また、打込み状況を可視像で得るため、反対側の型わくを透明アクリル板としてビデオ撮影を行った。使用した赤外線カメラは、検知波長帯が3~5 μ m、瞬時視野が2mradの電子冷却式のものである。

実験模型は、図-2に示すように、コンクリート打込み時に生ずる欠陥として、 ϕ 20cmの塩ビ管で空隙を模擬した模型と、高さ20cmの豆板を模擬した模型の2種類とした。コンクリートは、空隙を有する模型では、スランプフローが約60cmの水中不分離性コンクリートを、豆板を有する模型では、スランプが約18cmの普通コンクリートを用いた。豆板は、コンクリート温度と同じ温度となるよう、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型わく内へ打込んで作製した。

3. 実験結果

コンクリート打込み時の計測結果は、写真-1、写真-2に示すとおりであり、右側が熱赤外線画像、左側が可視化像である。実験の結果、コンクリートの打上がり状況はほぼリアルタイムで検出することが確認でき、模擬した欠陥も検出することができた。

写真-1は、空隙を有する模型での打込み途中の段階における計測結果である。この時のメタルフォーム温度は9.0 $^{\circ}$ C、コンクリート温度は19.5 $^{\circ}$ Cであり、熱赤外線画像の計測は、温度ステップ0.6 $^{\circ}$ C、カラー16色として行った。写真からわかるように、熱赤外線画像によりコンクリートの打込み高さのみならず、欠陥を模擬した空隙の部分がコンクリート部分より温度が低く表れており、その位置や大きさの検出が可能であることが明らかとなった。

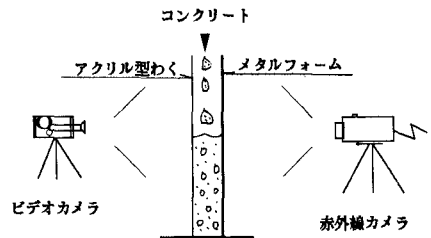


図-1 実験方法

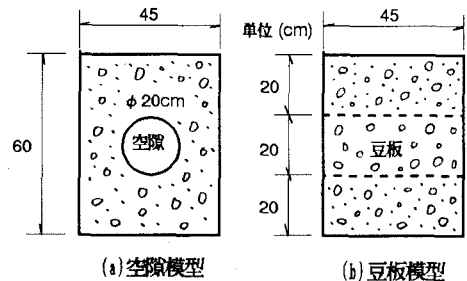


図-2 実験模型の形状

写真-2は、型わく中央の高さに厚さ約20cmの豆板を有する模型での、打込み終了直後の計測結果である。この時のメタルフォームの温度は16℃、コンクリートの温度は21℃であり、赤外線画像の計測は、温度ステップ0.3℃、カラー16色として行った。写真から明らかなように、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、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。



写真-1 空隙模型での計測結果

図-3は、空隙を模擬した模型において、コンクリートの打上がり高さと同熱赤外線画像が検出したコンクリート高さとの関係を表したものである。この図に示すように、熱赤外線画像の方が実際の打上がり高さより0.5~4cm小さく検出されている。これは、コンクリートの温度が型わく外面に伝達するまでに要する時間に起因しているものと考えられる。しかしながら、実用的には、ほぼリアルタイムでコンクリートの打上がり状況を検出していると判断できる。

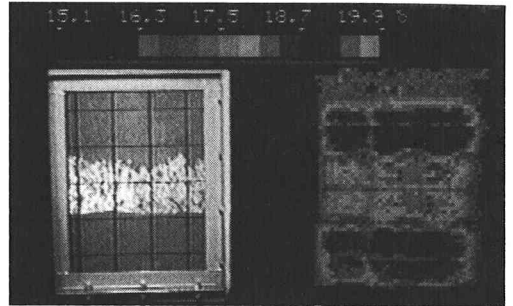


写真-2 豆板模型での計測結果

図-4は、型わく内に打込んだコンクリートの温度がメタルフォーム外面にどのように伝達するかを非定常熱伝導解析により求めた結果を示したものである（解析に使用した定数：メタルフォームの厚さ2mm、熱伝導率1.92Kcal/mm・s・℃、比熱×密度 8.243×10^{-7} Kcal/mm³・℃、熱伝達率 2.789×10^{-9} Kcal/mm・s・℃）。この図に示すように、コンクリート打込み直後では、型わくとの温度差が大きく、時間の経過とともに型わく温度がコンクリート温度に近づいている。コンクリートが接していない部分を空隙とみなすと、コンクリート打込み直後であれば、小さな空隙まで検出しやすいと考えられる。しかしながら、ある程度時間が経過しても、温度差が生じていることから判断すると、使用する赤外線検知器の解像度、計測距離等を適切に選定することにより、検出できる空隙の大きさが異なることを示しており、それらの適切な選定が検出精度に対して重要であるといえる。

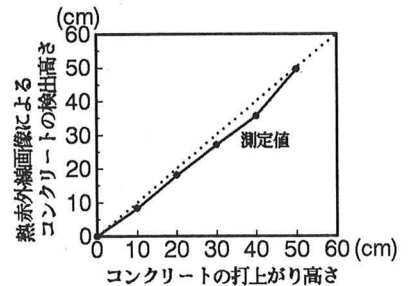


図-3 熱赤外線画像におけるコンクリート打上がり高さの検出感度

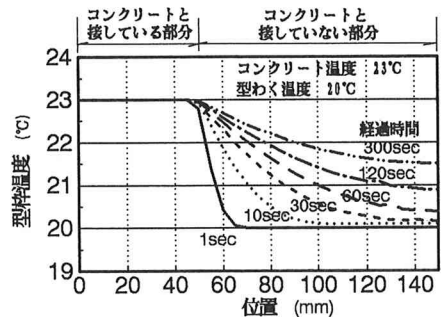


図-4 メタルフォームの熱伝導解析結果

本研究の結果、コンクリート打込み時に、型わく表面の熱赤外線画像を計測することにより、コンクリートの打上がり状況がほぼリアルタイムで検出でき、その時に生ずる空隙や豆板の検出が可能であることが明らかとなった。検出できる欠陥の大きさは、型わくの材質や計測条件によって異なるが、本手法は、型わく外部から非接触でコンクリートの打込み状況を監視することができるため、施工管理上有用な手段になると考えられる。