

サーモグラフィ法によるコンクリートの 打設監視システムに関する研究

—鋼コンクリートサンドイッチ構造への適用—

Monitoring System of Concrete Placing by Thermography

—Application to Steel-Concrete Composite Structure—

魚本 健人*・渡部 正*

Taketo UOMOTO and Tadashi WATANABE

1. はじめに

著者らは、コンクリート打ち込み時における型枠外面の熱画像を撮影することによって、型わく内でのコンクリートの打ち上がり状況、締め固め状況をリアルタイムかつ視覚的に検出する方法を提案している^{1)~5)}。

これは、コンクリート構造物を高品質かつ高耐久的に建設するためには、施工過程をモニタリングする技術が重要であるという観点に立ち、施工の品質を定量的に評価する技術を確認するための一環として開発したものである。すなわち、コンクリート打ち込み時に生ずるかぶり部分の不十分な締め固めや材料分離による豆板、空隙等の欠陥が早期劣化に対して重要な影響を及ぼすため、それらを打ち込み時点にて検出することにより欠陥を未然に防止することが可能である。

本報では、この手法を鋼コンクリートサンドイッチ構造の実施工へ適用した結果について述べる。

2. 対象構造物の概要

計測の対象とした構造物は、図1に示すような完全密閉型の鋼コンクリートサンドイッチ構造である。このような構造物では、コンクリートを密閉された空間内に打ち込まなければならないため締め固め作業が困難であり、コンクリートの確実な充填性について懸念される。そこで、当該構造物では、この対策の一環として、締め固め作業を行わなくても型枠の隅々まで充填することができる高流動コンクリートを採用している。しかしながら、このようなコンクリートを使用した場合においても、外殻鋼板内での充填が十分になされたかどうかの確認を行うことができないという問題点がある。そこで、本手法によりコンクリートの充填状況をモニタリングすることとした。

*東京大学生産技術研究所 第5部

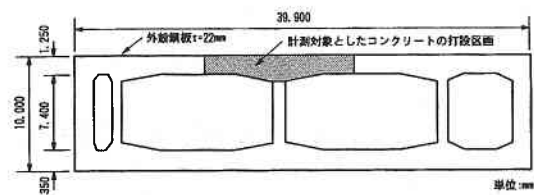


図1 構造物の概要

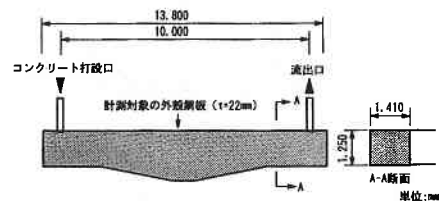


図2 コンクリートの打ち込み方法

当該構造物にて、コンクリートの充填性について最も懸念される部分は、下床版内側の外殻鋼板下面と上床版外面の外殻鋼板下面である。すなわち、コンクリートの打ち込みに伴ってその部分の空気が抜けない場合には、空隙が形成されて充填不十分となるからである。

ここでの報告は、図1に示した上床版での計測結果について行う。コンクリートの打ち込みは、図2に示したように、打設口から打ち込み、吐出口からコンクリートを流出したことを確認し、充填が完了したとする方式である。コンクリートの水平方向の最大流動距離は約10mである。外殻鋼板の厚さは22mmであり、コンクリートは、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を用いた二成分系の高流動コンクリートを使用した。

3. モニタリング方法

型枠内へコンクリートを打ち込むと、それらの温度差に起因して型枠の温度が変化する。この現象を、赤外線映像



写真1 上床版の外観

表1 使用した赤外線映像装置

型 式	TVS-2000
測定温度範囲	-35 ~ 950
撮影距離	20cm 以上
検知波長帯 (μm)	3 ~ 5.4
赤外線検知器	InSb 10素子アレイ
検知器の冷却方式	7#コソカス or チソカス
最小検知温度差 (°C) 1)	0.1
設定感度 (°C)	0.01 以上
瞬時視野角 (mrad)	2.2
走査線数 (本)	100
表示画素数 (縦×横)	199 × 256
画像の階調 カラー	16, 64, 128, 256
フレームタイム (秒)	0.03
画像の積算回数 (回)	2 ~ 256

注: 1)最小検知温度差は、
画像の積算回数に応じて小さくなる

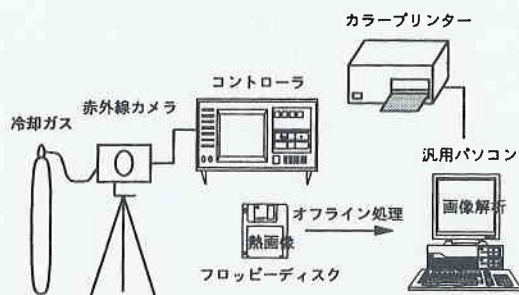
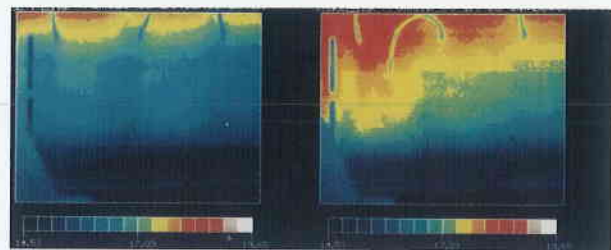
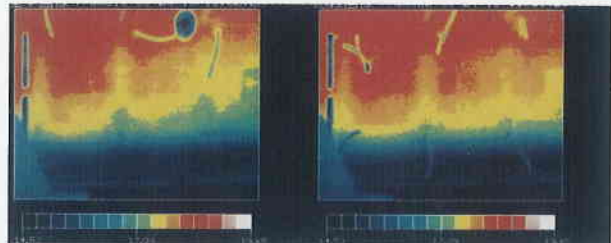


図3 計測・解析システム

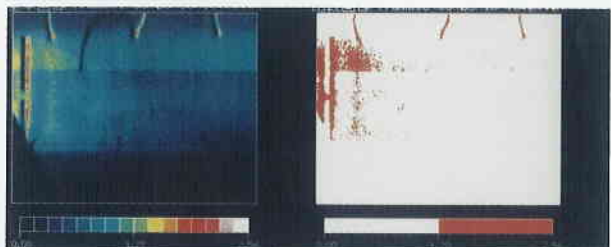


(a) 打ち込み前 (b) 打ち込み途中

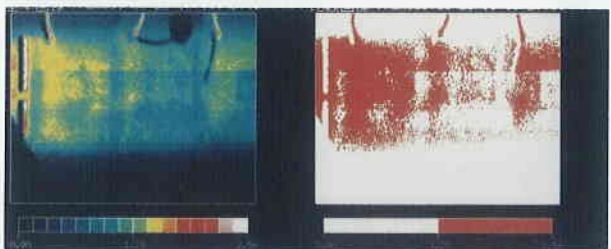


(c) 打ち込み途中 (d) 打ち込み終了後

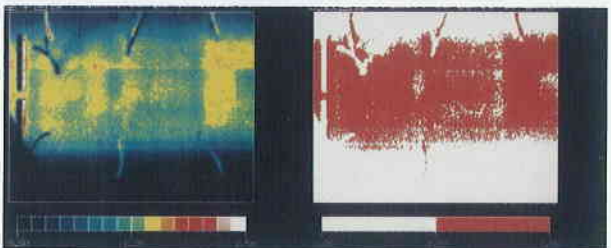
写真2 熱画像の撮影結果



(a) 打ち込み途中の差分画像と2値画像処理結果



(b) 打ち込み途中の差分画像と2値画像処理結果



(c) 打ち込み終了後の差分画像と2値画像処理結果

写真3 差分画像と2値画像処理結果

装置を使用して非接触かつ二次元的に熱画像として撮影することにより、コンクリートが充填された部分とそうでない部分を判別するとともに、締め固め不良箇所の検出を行うことができる。そして、撮影した熱画像に対して画像処理法を適用することにより、欠陥の識別をより定量的、客観的に行うことが可能である^{1)~5)}。

今回計測した鋼コンクリートサンドイッチ構造物における上床版の外観は、写真1に示したとおりである。コンクリート打ち込みに伴う熱画像の撮影は、赤外線映像装置を上床版の上方10mの位置に設置して撮影した。

使用した赤外線映像装置の仕様を表1に、計測および画

研究速報

画像解析システムを図3に示した。撮影した熱画像は、コントローラに内蔵されている装置にてフロッピーディスクに記録し、汎用の32ビットパーソナルコンピュータにてオフラインで画像解析を行った。

4. モニタリング結果

コンクリート打ち込み時の熱画像の撮影結果を、写真2(a), (b), (c), (d)に示した。撮影は写真1中に示した範囲であり、コンクリート打ち込み時の外気温は17.5℃、コンクリート温度は20℃であった。熱画像の撮影は、設定感度0.02℃、256色表示として行ったが、ここに示した画像は、パソコンのディスプレイ上での画像であるため16色表示となっている。

写真2(a)は、コンクリート打ち込み前の画像である。画像内の上側は、高温となっているが、これはすでにコンクリートが打ち込まれた隣の区画である。写真2(b), (c)はコンクリート打ち込み途中、写真2(d)は打ち込み終了5分後の熱画像である。コンクリートの打ち込みは画像内の左側から行っており、打ち込みに伴って外殻鋼板の温度が左側の方向から上昇している。このように、コンクリートの流動・充填が左側から行われていることが、室内実験⁴⁾と同様、外殻鋼板の温度変化として検出できることが確認された。

しかしながら、このような原画像からだけでは、充填された部分とそうでない部分とを定量的に判別することが難しい。そこで、以下のような手順と方法で画像処理を行った⁵⁾。

(1) コンクリート打ち込み前と打ち込み後の時系列画像にて、画像間差分演算を行って、コンクリートが打ち込まれたことによって生じた温度変化量のみを抽出する。

(2) 画像を見やすくするため、ダイナミック・レンジの許容される範囲内で、温度表示幅を変換してコントラストを強調させる処理を行う。

(3) 上記(2)の画像に対し、欠陥を客観的、定量的に識別するため、熱画像内の測定温度のバラツキを考慮したしきい値選択を行って2値画像処理を行う。すなわち、コンクリートが充填された部分と充填されていない部分とを2値画像として表示する。

写真3(a), (b), (c)は、画像処理結果であり、左側が打ち込み前の熱画像との差分画像、右側が2値画像である。画像処理は専用開発したソフトを使用してオフラインで行った。画像処理に要する時間は、パソコン操作も含めて数十秒程度である。

差分画像は、コンクリートが打ち込まれたことによって生じた外殻鋼板の温度変化量のみを抽出しているため、原

画像に比べて充填部分を明瞭に識別することができる。

2値画像におけるしきい値 T_{thr} は、赤外線映像装置の性能に起因する誤差や外殻鋼板の表面形態に起因する誤差を考慮し、コンクリートの充填部分と未充填部分を95%の信頼確率で判別することとする。すなわち、差分画像における部材中央付近の画素温度の平均温度上昇量が1.42℃、標準偏差が0.11℃であることより、

$$T_{thr} = 1.42 - 1.96 \times 0.11 = 1.20$$

とした⁵⁾。2値画像処理結果では、縦方向に低温領域が3本存在するが、この部分は外殻鋼板内部に取り付けられているダイヤフラムの位置に相当する部分である。また、画像の上下の各3箇所細長い低温領域が存在するが、これは写真1でも見られるように空気抜きホースである。

これらのことを考慮して処理結果を見ると、コンクリートの打ち込みに伴って左側から右側へコンクリートが充填されている状況が2値画像として明瞭に識別できている。ただし、ダイヤフラムに挟まれた中央領域は部分的ではあるが充填不良と判定されており、この段階ではこの部分の空気が抜けきらないためにコンクリートと外殻鋼板との間に隙間が生じている可能性があることを示している。

5. ま と め

提案した本手法を鋼コンクリートサンドイッチ構造物の実施工へ適用して、その実用性について検討した。その結果、コンクリートの打ち込み状況は、室内の模型実験と同様^{1)~5)}、リアルタイムでモニタリングできることが明らかになった。また、画像処理法を適用することにより、充填状況の定量的な判定を行うことができること、コンクリート施工のモニタリングシステムとしての本手法が十分な実用性を有していることが確認できた。

謝 辞

本研究費の一部は平成5年度文部省科学研究費補助金(試験研究(B))(研究代表者:魚本健人)によったものであることを付記する。(1993年11月29日受理)

参 考 文 献

- 1) 魚本健人, 渡部正, 関口司: 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, 第43巻, 第5号, pp. 21-24, 1991. 5
- 2) 渡部正, 魚本健人: 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, 土木学会論文集, No. 435, VI-15, pp. 121-128, 1991. 9
- 3) Taketo UOMOTO, Tadashi WATANABE: APPLICATION OF THERMOGRAPHY FOR MONITORING

研 究 速 報

CONCRETE PLACING, FIRST FAR EAST NONDESTRUCTIVE TESTING CONFERENCE, pp. 168-175, November, 1991 (Seoul, Korea)

関するシンポジウム, 日本コンクリート工学協会, pp. 115-120, 1993年5月21日

- 4) 渡部正, 魚本健人:サーモグラフィー法による超流動コンクリートの充填度管理法に関する研究—鋼コンクリートサンドイッチ構造への適用—, 超流動コンクリートに

- 5) 渡部正, 魚本健人:型わく面の熱画像解析によるコンクリート打込み時の欠陥検出法に関する研究, 土木学会論文集, No. 478, V-21, pp. 51-59, 1993. 11