

サーモグラフィー法による空隙部の簡易検査手法の提案

千葉工業大学大学院 学生会員 高羅信彦

東京大学生産技術研究所 フェロー会員 魚本健人

はじめに

1999年、北九州、福岡、礼文浜の覆工コンクリートの崩落事故が相次ぎ起き、現在鉄道トンネル覆工コンクリートの表面の剥離、剥落の調査が重要視されている。コンクリート構造物の点検は主に目視で行われているが、交通規制等の問題から構造物を破壊せず簡便に検査できる非破壊検査手法としてサーモグラフィー法が注目を浴びている。しかしながら、熱源の熱量、加熱時間、欠陥状態の違いにより、その欠陥部に生じる温度分布から欠陥状態を評価することは熟練の技術者でさえも困難になるケースが非常に多い。そこで本研究では、これらの要因を一括評価する手法について検討し、現場において簡易的に評価する手法を提案することとした。なおひび割れ角度の評価手法に関しては既報^{*1}において報告済みであるので、本論文では欠陥の対象が空隙である場合に関して検討を行うこととした。

実験概要

供試体の配合は水比 55%とした。図-1 および写真-1 にモデルの寸法および概略を示した。空隙の大きさは厚さ 20mm、横 50mm、奥行き 100mm とし、それぞれを深さ 15、30、50、80mm に空隙を導入した。導入方法はコンクリートを打設する際、あらかじめ発泡スチールを埋設し、コンクリート硬化後に開放面より、アセトンを通して発泡スチロールを溶かし、空隙部を作成した。測定状況を図-2 に示す。供試体の加熱面以外の 5 面を発泡スチロール系特殊断熱材にて覆い、遠赤外線ストーブを 500mm (熱流束 $3.6(\text{kW}/\text{m}^2)$ に相当) の距離よりコンクリート表面を均等に加熱した。加熱時間は加熱開始から 0、1、5、15、30 分とした。撮影後、画像解析を行い表面温度差(欠陥部 A-欠陥部 B)を求めた。



写真-1 モデルの概観

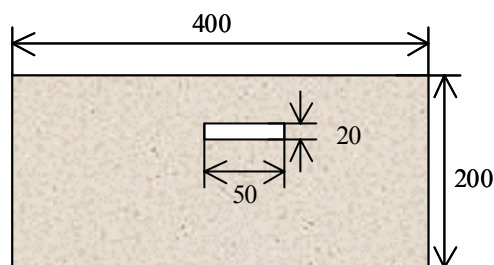


図-1 モデルの寸法

実験結果

図-3 に空隙モデルの表面温度差と空隙深さの関係を図示した。図より既往の研究でも示されている通り、空隙深さが浅いほど、表面温度差は顕著にあらわれることがわかる。また加熱時間が長いほど表面温度差も顕著に表れることが分かる。空隙の検出に関する実験は既往の研究においても様々行われているが、このようにしながら実験室で行った条件(熱量、加熱時間)と同じ条件を現場において採用することは現実的に不可能であるため、実験室レベルの結果を参考にして、現場で得た熱画像から空隙の有無、深さ等を同定することは困難を極めている。

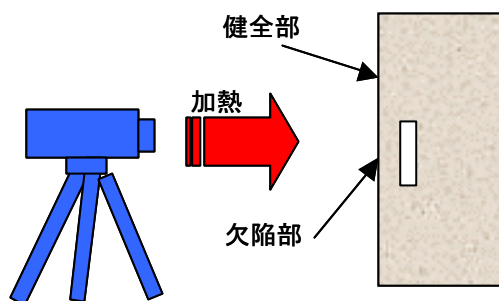


図-2 実験風景

キーワード 非破壊検査, サーモグラフィー法, 空隙, 推定手法

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 魚本研究室 03-5452-6098

そこで熱源の熱量、加熱時間の影響を一括評価する指標を提案し、実験室レベルの結果を現場でも採用できる形にする必要がある。ひび割れモデルに関して既報により報告済みである累積熱流束 ($\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$) と表面温度差の関係を空隙モデルにも採用することが有益であると考えられる。図-4 にその結果を図示した。累積熱流束 ($\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$) とは熱流束と時間を乗じたものであり、熱源の違いや加熱時間の違いを横軸で一括評価することで実験レベルの指標を現場の様々な条件に対応できるようにしたものである。この指標を使用することで簡易的に空隙深さを推定することが可能となる。

また熱源の種類、加熱時間の選定にも役立つ。例えば熱源として太陽光を使う場合、日の出における熱流束は $0.2(\text{kW}/\text{m}^2)$ 程度であることから 30mm の位置の空隙を検知するためには $2500(\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2) \div 0.2(\text{kW}/\text{m}^2) = 12500$ 秒の加熱時間を要する。つまり日の出が AM6 時であった場合、空隙が 30mm の位置にある欠陥は AM10 時頃に測定すると健全部より 1°C 程度温度が高い分布を示すことになる。このように指標から欠陥を検知するために絶対的に必要な累積熱流束が存在するため適切な熱源の種類、加熱時間を選定することができる。

指標による空隙深さの推定

ここでは、上記の指標の妥当性に関して加熱条件(熱源の種類、加熱時間)を変えて検討を行った。「A」の形状をした空隙を深さ 30mm の位置に導入し、コンクリート表面を遠赤外線ガスストーブにより加熱した。(詳細は既報^{※2}を参照) 遠赤外線ガスストーブを距離 1000mm より 1800s 加熱したところ図-5 に示すように健全部と欠陥部では約 $1\sim 2^\circ\text{C}$ の温度差が生じた。また健全部ではこの加熱により約 7°C の温度上昇が認められたことから熱流束 $2.0(\text{kW}/\text{m}^2)$ に相当する(簡易的に熱流束を求める手法は既報に示す)。以上のことから図-4 の指標を利用して空隙深さを推定すると累積熱流束は $2.0 \times 1800 = 3600(\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2)$ で表面温度差が $1\sim 2^\circ\text{C}$ 生じたことから深さ 30mm の位置に空隙が存在すると予測できる。このようにして従来では熟練の技術者を要しないと定量的な判断は困難であったが、本手法により簡易的に判断することができる。今後の展開としてこの指標に空隙の厚さ、熱流束の幅を取り入れる必要があると考えられる。

まとめ

累積熱流束という概念を使うことで熱源の違い、加熱時間の影響を一括化することができ、本論文で示した手法により簡易的に空隙深さを予測することができる。

参考文献

- 1, 高羅, 魚本: サーモグラフィー法によるコンクリート構造物のひび割れ検査手法の提案, 生産研究 5 月号, 2002 年
- 2, 高羅, 足立, 魚本: サーモグラフィー法によるコンクリート内部空隙の検出精度に関する研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, V-421, 2001 年 10 月

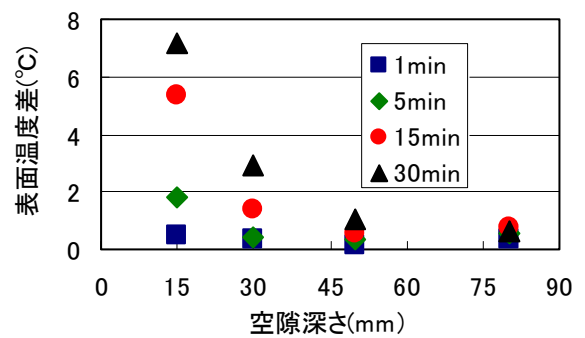


図-3 空隙の深さと表面温度差の関係

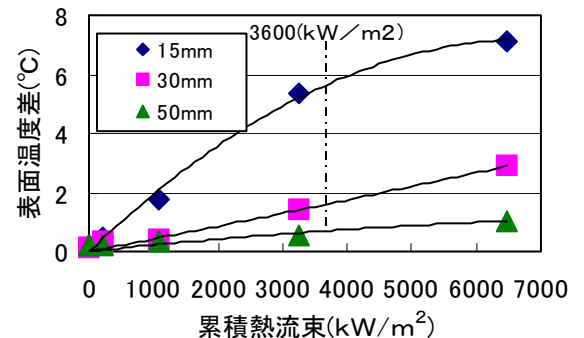


図-4 累積熱流束と表面温度差の関係

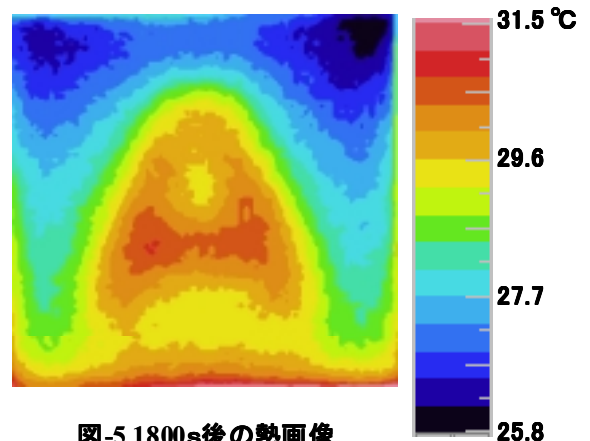


図-5 1800s後の熱画像