

サーモグラフィ法による鋼 - コンクリート間における空隙寸法の評価

岐阜大学 正会員 鎌田敏郎 六郷恵哲
岐阜大学 学生員 神谷和之 川瀬貴行

1. 研究背景および目的

サーモグラフィ法は、原理的に構造物の表層部の欠陥検出に有効と考えられる。しかしながら現状では、欠陥の存在個所を定性的に判断するなどの概略調査に用いられる程度であり、欠陥寸法を定量的に評価する手法については検討が不十分である。

本研究では、サーモグラフィ法を用いて鋼 - コンクリート間の空隙寸法を非破壊的に評価する手法の確立を目的とした。空隙の平面寸法および厚さの評価に適したパラメータについて検討し、手法の適用限界についても検討を加えた。また、3次元非定常熱伝導解析により、実験値の妥当性についても検討した。

2. 実験および解析概要

円盤型の人工空隙(スチレンボード製)を鋼板背面に接着後、その鋼板をモルタル(W/C = 50%, S/C = 2.0)と一体化させた供試体を作製した。供試体寸法は、鋼板厚(4.5mm, 9.0mm)を含めて400×400×100mmとした。空隙寸法は、空隙体積のある範囲内で、直径と厚さの組み合わせを考えたものおよび同じ平面寸法(直径100mm)で厚さのみを変化させたものとした。

実験は、液体窒素を染み込ませた冷却板を供試体の鋼板表面に接触させることにより、強制的に冷却(冷却時間は60秒)し、冷却後の鋼板表面の温度を計測した。計測は、冷却終了直後から開始し3分間行った。また、3次元非定常熱伝導解析により、実験値の妥当性について検討した。

3. 結果および考察

3.1 平面寸法の推定

温度変化領域(図-1参照)の平面的大きさと空隙の平面的大きさは極めて相関が高いことが明らかとなった。この温度変化領域の温度分布曲線における変曲点の位置が、空隙端部の位置と一致した。図-2に、実験で得られたサーモグラフィをもとに平面寸法を推定した例を示す。これによれば、変曲点の位置つまり空隙端部の位置は70mmと推定できる。実際の空隙半径は63mmであるから、極めて近い値となった。また、この変曲点温度をしきい値としてサーモグラフィ上に示した結果(図-2参照)、空隙形状とよい対応を示した。

3.2 空隙体積と|Tv|max

図-3に空隙体積と|Tv|max(空隙部と健全部の温度差の最大値)の関係を示す。これによれば、全体としては、空隙体積が大きくなるに従って|Tv|maxは大きくなる傾向を示している。厚さが同じケースにおいては明確な相関が見られ、体積が大きくなるにつれて|Tv|maxは増加することがわかる。この傾向は解析値においても同じであった。

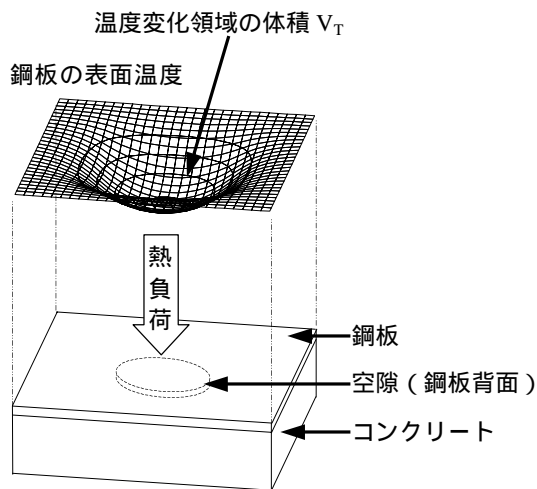


図-1 温度変化領域のイメージ

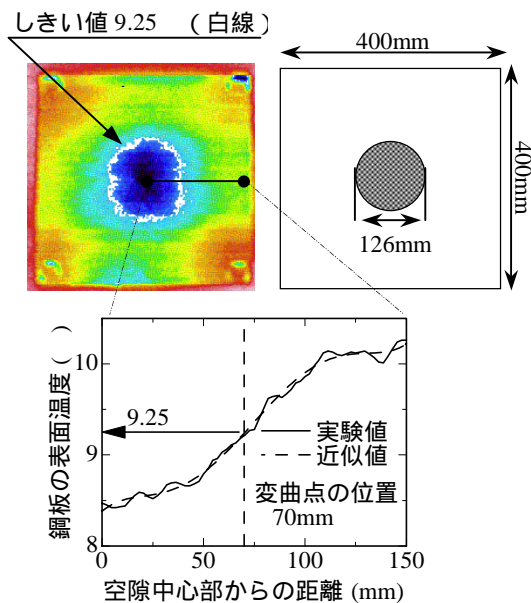


図-2 平面寸法の推定例

3.3 空隙厚さと $|T_v|_{max}$

図-4 に、空隙直径を 100mm として、厚さを変化させた場合の空隙厚さと $|T_v|_{max}$ の関係を示す。これによれば、厚さ 10mm 程度までは $|T_v|_{max}$ は急激に増加し、厚さ 10mm 以上ではその傾向は頭打ちとなった。また、この関係は、解析値においても同じであった。これは、空隙厚さが 10mm 以上になると、厚さ方向の熱伝導の増加がごくわずかとなり、一方で平面方向の熱伝導が卓越してしまうことによると考えられる。したがって、空隙厚さ 10mm 以下では $|T_v|_{max}$ の違いによって、厚さの違いが判断できると考えられる。しかし、空隙の形状によっては、 $|T_v|_{max}$ のみで判断することが困難な場合も考えられるので、温度変化領域の特性を示すより適切なパラメータについて検討を加えた。

3.4 空隙厚さと V_T

温度変化領域全体の特性を表すパラメータとして、温度変化領域を立体的に表した場合の体積を V_T (図-1 参照) と定義し、 V_T と空隙厚さの関係を検討した。

図-5 に空隙直径を 100mm として、厚さを変化させた場合の空隙厚さと V_T の関係を示す。これによれば、厚さ 10mm までは V_T の増加は大きく、増加割合は次第に小さくなり、30mm で頭打ちになった。解析値では、10mm 以上で V_T の変化が見られなくなった。 V_T が頭打ちとなる空隙厚さは、実験値と解析値とは異なっているが、この理由については用いた物性値や冷却条件などが影響しているものと思われる。この傾向は、 $|T_v|_{max}$ と同様であり、厚さ 10mm 以上になると平面方向の熱伝導が卓越してしまうことによって、厚さに対する V_T の感度が鈍ることによるものと考えられる。したがって、厚さ 10mm 以下であれば、 V_T の違いによって、厚さの違いが判断できると考えられる。

3.5 空隙厚さの推定

前節において、 V_T の違いによって、厚さの違いが判断できる可能性が示された。そこで、 V_T を用いて空隙厚さを推定する手法について述べる。まず、サーモグラフィから得られた T_v 曲線を用いて平面寸法を推定し、その平面寸法における空隙厚さと V_T の関係を解析的に求める。そして、同じサーモグラフィから算出される V_T を先に求めた関係に照らし合わせることで空隙厚さを推定する。

4. 結論

本研究において、空隙寸法の定量的評価手法について、以下のような結論を得た。

- (1) サーモグラフィより得られた温度分布曲線における変曲点の位置の温度をしきい値として、その温度帯をサーモグラフィに示すことにより空隙の平面的な大きさおよび形状が確認できる。
- (2) 空隙厚さと V_T の関係を利用することにより、空隙厚さを推定することができる。まず、(1)により平面寸法を推定し、その平面寸法に応じた空隙厚さと V_T の関係を解析的に求める。そして、その関係を用いることにより、サーモグラフィより得られた V_T に対応した厚さが推定できる。また、本研究における適用範囲は、空隙厚さ 10mm 以下であると考えられる。

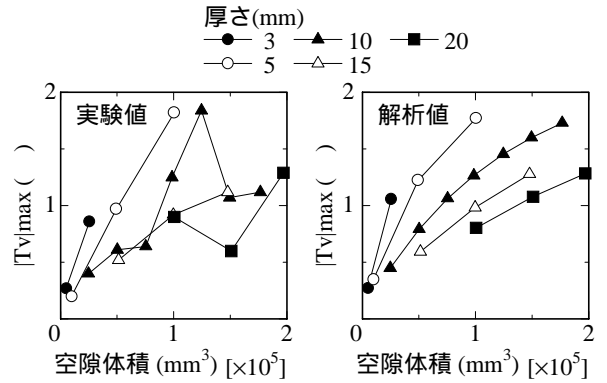


図-3 空隙体積と $|T_v|_{max}$
(鋼板厚 4.5mm, 60 秒冷却終了後 30 秒経過時)

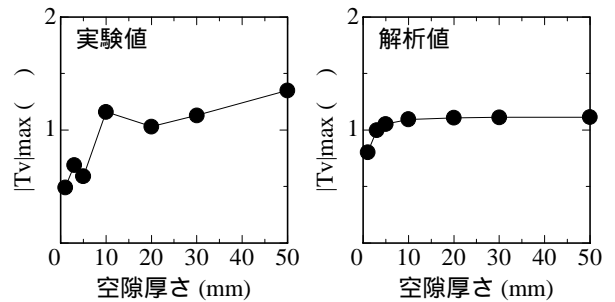


図-4 空隙厚さと $|T_v|_{max}$
(鋼板厚 4.5mm, 60 秒冷却終了後 30 秒経過時)

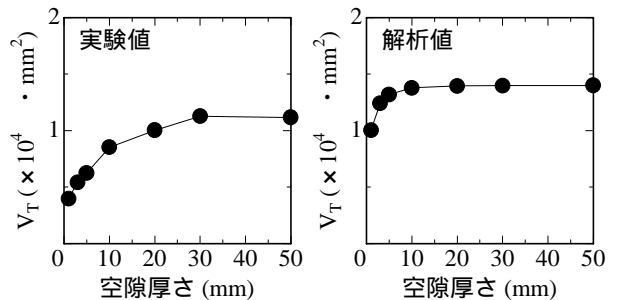


図-5 空隙厚さと V_T
(鋼板厚 4.5mm, 60 秒冷却終了後 30 秒経過時)