

赤外線熱画像による温度差検出箇所のコンクリート品質と劣化進行に関する一考察

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○正会員 高畑 東志明, 橋本 和明, 松田 靖博

1. はじめに

著者らは、コンクリート橋を対象とした赤外線サーモグラフィ法による非破壊調査（以下、赤外線調査という）を実施しており、打音点検のスクリーニングや点検時に注意すべき箇所の抽出に活用している。赤外線調査では特異な温度差を検出して異常部を見つけ出すが、その後の打音点検で健全と判断される箇所も多く見られた。そこで本研究では、実橋の赤外線調査にて特異な温度差を検出したが健全と判断された箇所の実態調査を行い、問題と判断できない異常部を模擬した試験体で検証実験を行うことにより、赤外線調査結果とコンクリートの状態や経年劣化を考察する。

2. 赤外線調査結果と打音点検結果

四国の高速道路橋における赤外線調査は平成 21 年から行っている。図-1 に供用年数 10 年毎に、赤外線調査にて特異な温度差があった箇所の打音点検結果を、健全・色むら、浮き、剥離の 3 種に分類し、その割合を示す。供用年数が 20 年未満であると浮きや剥離と判定されたものは 3 割程度であるが、20 年以上になると 78.5% と大幅に増加する。このことから、特異な温度差がある箇所は、初期欠陥など何らかの異常を持っており、年数が経過することで浮きや剥離に進展しているのではないかと考えられる。

3. 特異な温度差がある箇所の実態調査

赤外線調査において特異な温度差を検出した箇所に、初期欠陥などの顕在化していない損傷が存在するか確認するため、打音点検およびテストハンマーによる圧縮強度推定（以下、テストハンマー強度）を行った。供用から 14 年が経過した松山自動車道の RC 中空床版橋から 5 箇所を選定した。なお、設計条件や環境条件、施工条件による影響を排除するため、選定箇所は同一径間内とした。図-2 に赤外線調査により特異な温度差を検出した熱画像の代表例を示す。特異な温度差を示した箇所を中心として図-2a) の A ～I に示す 9 点にてテストハンマー強度を測定した。

打音点検の結果、調査箇所 1～5 のいずれにおいても温度差が検出されなかった測点では健全を示す清音であった。特異な温度差が検出された測点では、温度差が検出されなかった測点とは少し音が異なるものの、浮きや剥離が生じている箇所のような濁音とは判断できなかった。

表-1 に各測点における推定圧縮強度結果を示す。網掛け部の測点は、赤外線調査にて特異な温度差が検出された測点である。特異な温度差が検出されなかった測点はほとんどが 50N/mm² 以上であるのに対し、特異な温度差が検出された測点は 17.8～39.3 N/mm² と低

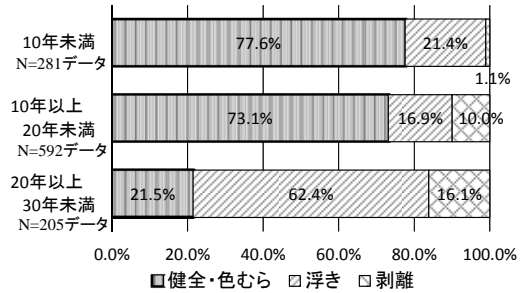


図-1 供用年数別の特異な温度差がある箇所の打音点検結果

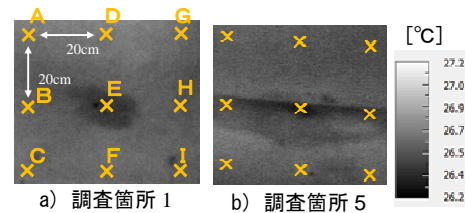


図-2 テストハンマーの測点位置と温度分布

表-1 テストハンマー強度一覧

測点	単位: N/mm ²				
	調査箇所1	調査箇所2	調査箇所3	調査箇所4	調査箇所5
A	50.1	57.7	54.4	53.4	60.9
B	50.1	53.4	57.7	51.2	21.0
C	56.6	55.5	57.7	55.5	55.5
D	56.6	53.4	53.4	49.0	56.6
E	39.3	26.4	17.8	29.6	28.5
F	51.2	53.4	56.6	53.4	56.6
G	54.4	63.0	55.5	54.4	48.0
H	49.0	53.4	54.4	52.3	18.9
I	54.4	63.0	59.8	53.4	54.4

網掛け部は特異な温度差が検出された測点

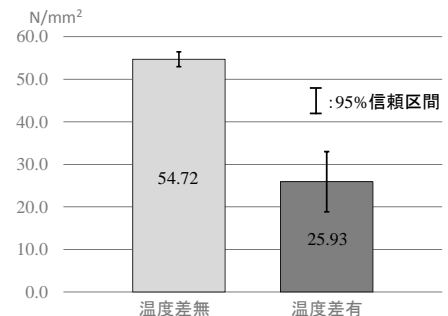


図-3 特異な温度差の有無による圧縮強度の平均値 (5%で有意)

キーワード 赤外線サーモグラフィ法, 非破壊検査, 温度差, 圧縮強度, 豆板, 水セメント比

連絡先 〒760-0072 香川県高松市花園町三丁目1番1号 TEL087-834-1121 FAX087-834-1193

い強度であった。特異な温度差の有無によってデータを2つに分類してT検定を行った結果、95%の信頼区間において有意な差が見られた(図-3)。このように、特異な温度差がみられる箇所は、周囲の健全部よりもテストハンマー強度が低くなっており、打音点検では検出できないが、建設時の不良部であったり、何らかの原因でコンクリートの経年劣化が進行している可能性が高いと考えられる。

4. 異常部を有する試験体による赤外線画像の検証

打音点検で確認できない損傷は、強度の低い箇所や内部に豆板がある箇所と想定し、異常部を有した試験体を作製して赤外線調査で検出できるか検証を行うこととした。コンクリート打設時に図-4a)のように中央部に円筒型枠を設け、円筒型枠の外側は通常のコンクリート、内側は異常部となるように打設を行った。異常部は、豆板として粗骨材を敷き詰めて表面をモルタルで覆ったもの(図-4b))と、強度の低いコンクリートとして通常の配合から W/C+10%と、W/C+20%となるよう加水したものを作製した。室内実験は、熱の移動を円滑にするため試験体の裏面に熱伝導シートを介してパネルに貼り付け、パネルを背面から一様に加熱する方法で、試験体の健全部と異常部で温度差が生じるかを確認した。

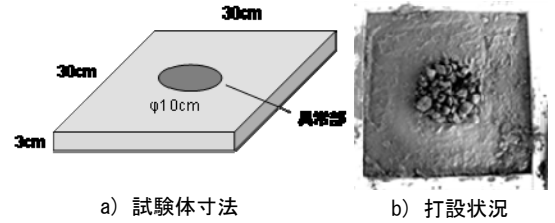


図-4 異常部を有する試験体

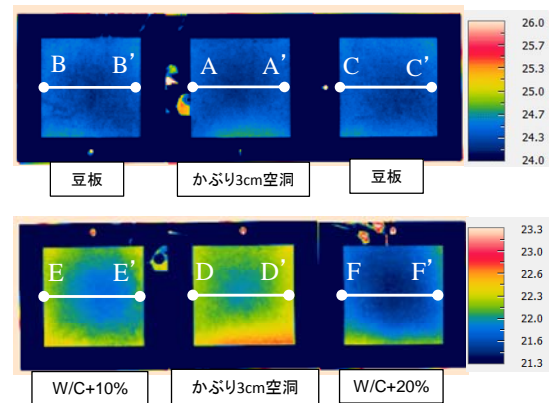


図-5 試験体の熱画像

赤外線カメラで撮影した試験体表面の温度を図-5に、断面位置の温度をプロットしたものを図-6に示す。なお、熱環境の基準として中央にかぶり3cm、 $100 \times 100 \times 1$ mmの空洞部を有する供試体を設置した。異常部を有する豆板、W/C+10%、W/C+20%のいずれの試験体も、空洞部と同様に中心部は健全な周辺部よりも温度が低くなり、異常部を温度差として検出できることが確認できた。

5. 赤外線調査結果に基づく生存分析

図-7は、赤外線調査により検出された異常部が剥離に至った時点で死亡と定義した生存分析結果である。全体として25年を過ぎると累計生存率は低下する傾向にある。部位ごとに比較すると、ジョイントの漏水の影響を受ける桁端部の累積生存率の低下が著しい。

6. まとめ

- (1) 赤外線調査による熱画像で、目に見えないコンクリート内部の豆板や、強度が低下している箇所を検出することができる。
- (2) 赤外線調査において特異な温度差を検出した箇所は、見た目が健全で打音点検にて濁音がしなくとも、劣化している可能性が高い。
- (3) 上記(2)のような箇所は、将来経年劣化により剥離に繋がると考えられる。

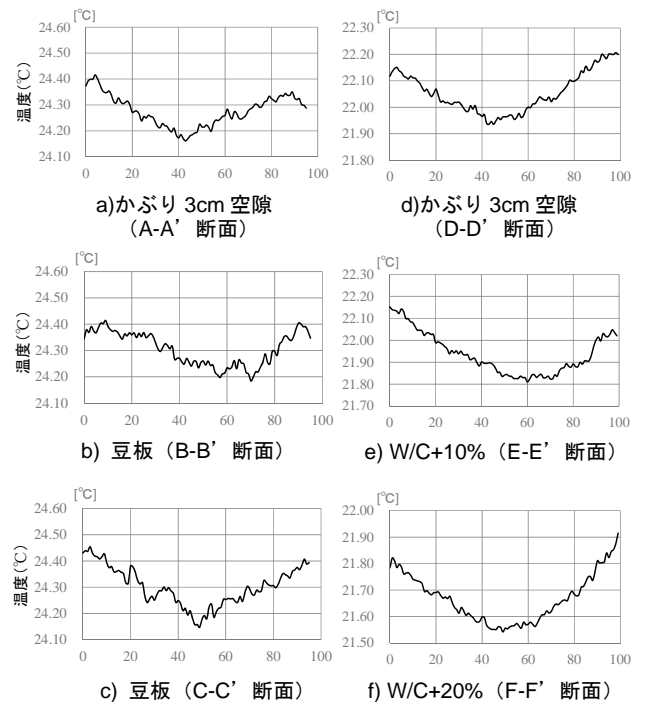


図-6 各断面の表面温度

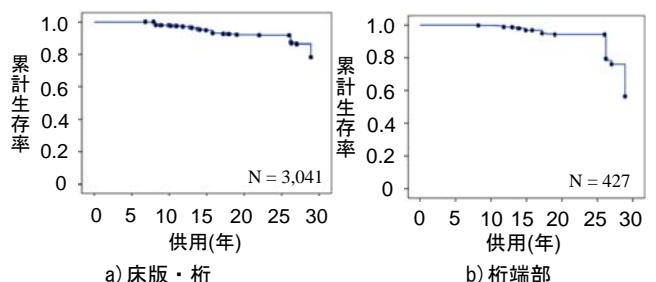


図-7 部位区分による生存曲線