

赤外線熱画像による橋梁コンクリートの温度差領域と密実性の関係

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○正会員 橋爪謙治, 橋本和明, 松田靖博
香川高等専門学校 建設環境工学科 正会員 林 和彦

1. はじめに

道路管理者は構造物の維持管理コストが将来逼迫することを見据え、合理的な管理方法を実践する必要がある。著者らは橋梁コンクリートを対象とし、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、打音検査のスクリーニングに活用してきた。これまでの研究¹⁾から赤外線調査により取得した熱画像で特異な温度差を検出した箇所（以下、温度差領域という）は、浮き・はく離などの変状を捉えるのみならず、時系列データを統計解析することで、コンクリートの劣化進行の把握と劣化予測に活用できる有用なデータであることが分かった。本論は、過去の赤外線調査結果を用いて変状特性を分析するとともに、脆弱なコンクリートを模擬した試験体による室内実験を実施することで、温度差領域と密実性の関係について考察したものである。

2. 赤外線熱画像による劣化特性分析

変状の種類による赤外線熱画像の温度分布傾向を把握するため、はく離、浮き、異温、遊離石灰の4種類にて、温度差領域における面積と温度差について図-1に整理した。なお、ここでいう異温とは、温度差領域が確認されるが、打音検査では健全と判定される状態のものを示す。

はく離については、面積の大小によらず温度差が大きい傾向にあることから、ひび割れが表面化することで、はく離の端部に大きな温度差が生じたものと推察できる。浮きについては、面積に比例して温度差が増大しており、内部劣化の大きさに関係するものと推察した。異温については、面積の大小によらず温度差は0.2℃前後と低い傾向にあった。遊離石灰については、漏水を伴う場合は面積によらず温度差が大きく、乾燥状態では遊離石灰自体の温度変化をそのまま捉えるため、面積にかかわらず温度差は小さい。

次に、抽出箇所の温度差履歴を図-2に示す。図-2cは2巡目（5年前）まで異温であったものが、現在では浮きへと変遷した事例である。これは、2巡目（5年前）から現在までの経過により劣化進行したことで、温度差が急増したことが考えられる。よって、赤外線熱画像で確認された異温は、コンクリート内部から劣化進行する損傷予備群を検出している可能性がある。

3. 実橋による温度差領域と反発度

温度差領域と劣化進行に影響するコンクリートの密実性の関係を把握するため、実橋にて実態調査を実施した。図-3は温度差抽出箇所41点と、健全（温度差が無い）箇所41点の計82点にて実施した、反発式硬度計による反発度の平均値である。温度差が大きいほど反発度の平均値は小さいことから、温度差の大小と密実性に一様の関係性を確認した。なお、実施した打音検査では測点全て

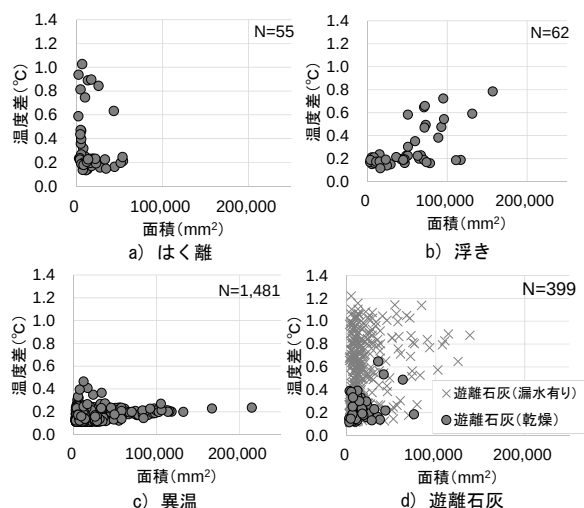


図-1 変状部の温度差と面積の関係

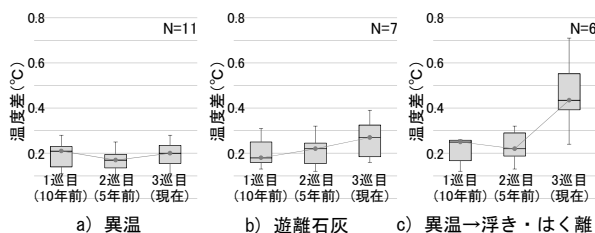


図-2 各変状の温度差履歴

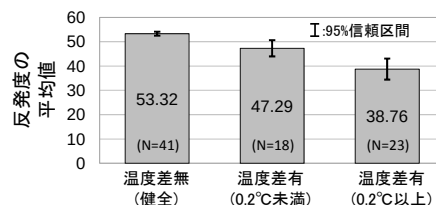


図-3 温度差と反発度

キーワード 赤外線サーモグラフィ法, 非破壊検査, 橋梁コンクリート, 温度差, 密実性

連絡先 〒760-0072 高松市花園町三丁目1番1号 TEL 087-834-1121 FAX 087-834-0150

浮きやはく離が生じているような濁音（異常音）は確認されていない。

4. 温度差領域とコンクリート密実性の検証実験

温度差領域と密実性の関係を検証するため、脆弱部を模擬した試験体（図-4）による室内実験を実施した。検証ケースと試験体の配置状況を図-5に示す。実験手順は室温と試験体と同温度になった状態から試験体を配置したボード全体を背面から加熱し、強制的に熱流を発生させ、試験体前面の赤外線熱画像の変遷を確認した。図-6に試験体表面の赤外線熱画像を示す。15分加熱後では、脆弱部が空洞部より大きな温度差が生じていたが、90分加熱後では温度差の大小が逆転した。これは、空洞部は損傷が表面から2cmの位置にあり、背面側からの熱移動により温度差が発生するのに対し、脆弱部は試験体表面に脆弱部分が現れているため、早い段階で低温部が現れたと推察する。90分加熱後では空洞 $\phi 10\text{cm}$ （No.1）は 0.22°C 、 $\phi 20\text{cm}$ （No.5）は 0.29°C の温度差が確認された。本結果は前述した劣化特性と傾向が合致している。次に脆弱部全体（No.2,3,4,6,7,8）では、温度差が 0.14°C から 0.21°C と空洞部に比べ温度差は小さい。これは、空洞部は断熱層となることから大きな温度差が生じるが、脆弱部は熱伝導率が周囲よりも小さいが断熱層は無いので、空洞部より温度差は小さいものと推察される。次に、 $W/C+10\%$ （No.2,3,4）と $W/C+20\%$ （No.6,7,8）を比較すると $W/C+20\%$ の方が温度差は 0.05°C 程度大きく発生する傾向が確認されたことから、赤外線熱画像によって確認された温度差が、コンクリートの密実度を定量化できる可能性がある。

図-7に損傷部の大きさと温度差の関係を示す。空洞部は大きさと温度差が比例関係であるのに対し、脆弱部は大きさによらず、ほぼ一定である。本結果は、実橋で異温と判定されたものと同じ傾向であることから、赤外線調査で異温として判定した温度差領域は、打音検査で確認できない程度のコンクリート脆弱部を検出している可能性がある。

なお、実験に用いた試験体の脆弱部と健全部からコアを採取し、物性値試験を行った結果、脆弱部が健全部よりも空隙量が大きいことを確認した。

5. まとめ

本検討の結果、赤外線調査で異温として判定した温度差領域は、打音検査で確認できない程度のコンクリート脆弱部を検出している可能性がある。また、発生する温度差は密実性の程度に関係し、領域の大きさには影響しないと思われる。

参考文献

- 1) 佃太貴，高畑東志明，橋本和明，松田靖博，石田哲也，高谷哲：赤外線サーモグラフィ法を用いた損傷抽出箇所におけるコンクリートの品質と劣化進行に関する一考察，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.16，pp.9-14，2016.11

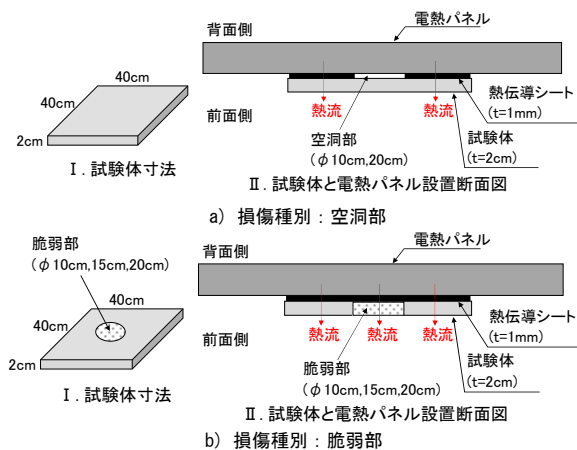
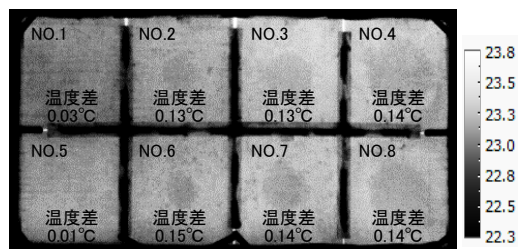


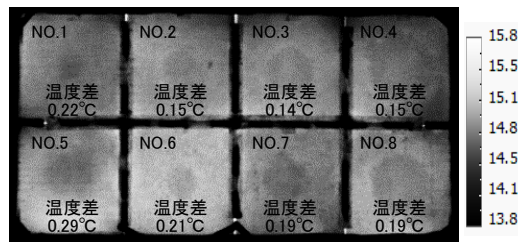
図-4 試験体設置図

No.1 空洞部 $\phi 10\text{cm}$	No.2 脆弱部 ($W/C+10\%$) $\phi 10\text{cm}$	No.3 脆弱部 ($W/C+10\%$) $\phi 15\text{cm}$	No.4 脆弱部 ($W/C+10\%$) $\phi 20\text{cm}$
No.5 空洞部 $\phi 20\text{cm}$	No.6 脆弱部 ($W/C+20\%$) $\phi 10\text{cm}$	No.7 脆弱部 ($W/C+20\%$) $\phi 15\text{cm}$	No.8 脆弱部 ($W/C+20\%$) $\phi 20\text{cm}$

図-5 検証ケースと試験体配置図



a) 15分加熱後



b) 90分加熱後

図-6 試験体の赤外線熱画像

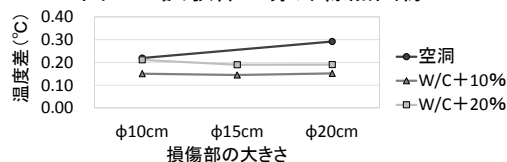


図-7 損傷の大きさと発現した温度差