

5. 橋梁点検に関する技術向上（床版上面の探査技術の検討）

床版コンクリート上面が砂利化する劣化現象が見られるようになってきた。床版砂利化は日常的な道路管理により舗装面が適度に補修されることが多いため発見が遅れ、橋梁定期点検で発見することは困難な場合が多く、床版抜け落ち等の重大な損傷に至るケースもあり、交通規制を伴うことや走行車両に損傷を与える危険性のある重大な劣化現象である。

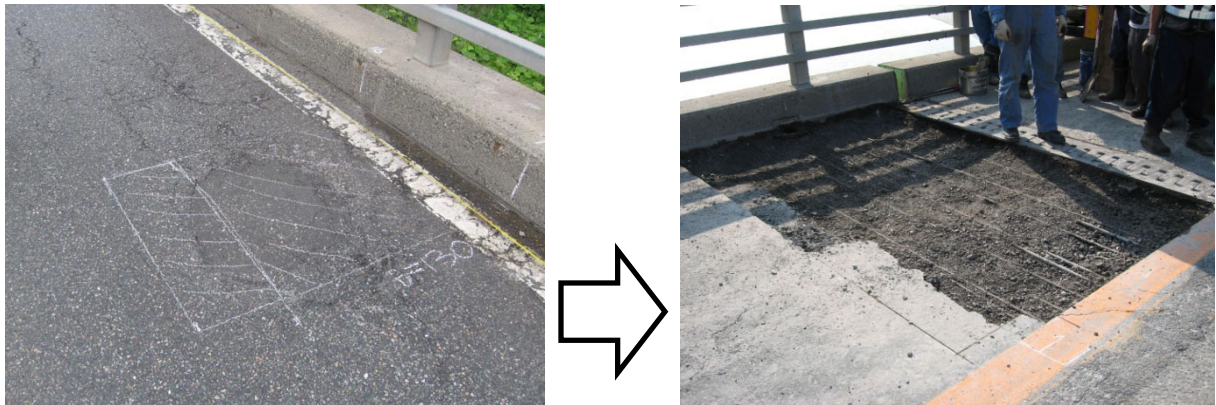


写真 5.1 舗装の損傷と舗装撤去後の床版上面

5.1 床版上面探査技術

床版の劣化の原因は舗装下に浸透した水（滞水）が凍結融解を繰り返すことにより写真 5.2 のようにコンクリート中の骨材が分離することによって生じると考えられる。このことは、舗装下の滞水を簡易に発見できれば、劣化している箇所や、今後劣化の進行が予想される箇所を発見できる可能性があることを示唆している。床版砂利化やその予兆を調査する方法として、電磁波レーダー法、赤外線カメラによる画像診断を応用した方法が考えられる。電磁波レーダー法は既に確立された調査方法であり、床版上面の損傷を短時間で交通規制なしに精度良く可視化できるが、調査費用が高価であることから舗装を撤去しての直接目視調査や打音検査が採用されるケースが多い。赤外線カメラを用いる方法は、コンクリート面の浮きや斜面の落石等の調査に既に採用されている方法で、床版上面の調査に用いる場合は、損傷そのものを発見するのが目的ではなく、舗装の浮きや舗装内の滞水等、床版上面の損傷の要因を早期に発見できれば詳細調査範囲を絞り込むことができる。本検討は、舗装表面の温度分布により、床版上面の損傷や劣化要因を探索することの有効性の検証を目的としている。



写真 5.2 床版上面の砂利化

5.2 赤外線サーモグラフィーの概要

赤外線サーモグラフィーは、「対象物の表面から生じる赤外線放射エネルギーを検出し、見かけの温度に変換し、その分布を画像表示する装置またはその方法」を言う。赤外線サーモグラフィーの特徴として以下の点が挙げられる。

- ・面的に温度分布を捉え、画像が表示でき、わかりやすい
- ・対象物から距離が離れていても非接触で温度測定が可能
- ・リアルタイムで計測が可能

5.2.1 赤外線サーモグラフィーの活用事例

(1) コンクリート構造物の浮き・はく離調査

赤外線サーモグラフィーを用いたコンクリート構造物の変状調査は既に実用化された技術である。その原理は図 5.1 のようにコンクリート内部に空隙がある場合、空気層の断熱効果により周辺より高温となる。これをサーモグラフィーで捉え、熱画像として現すものである。

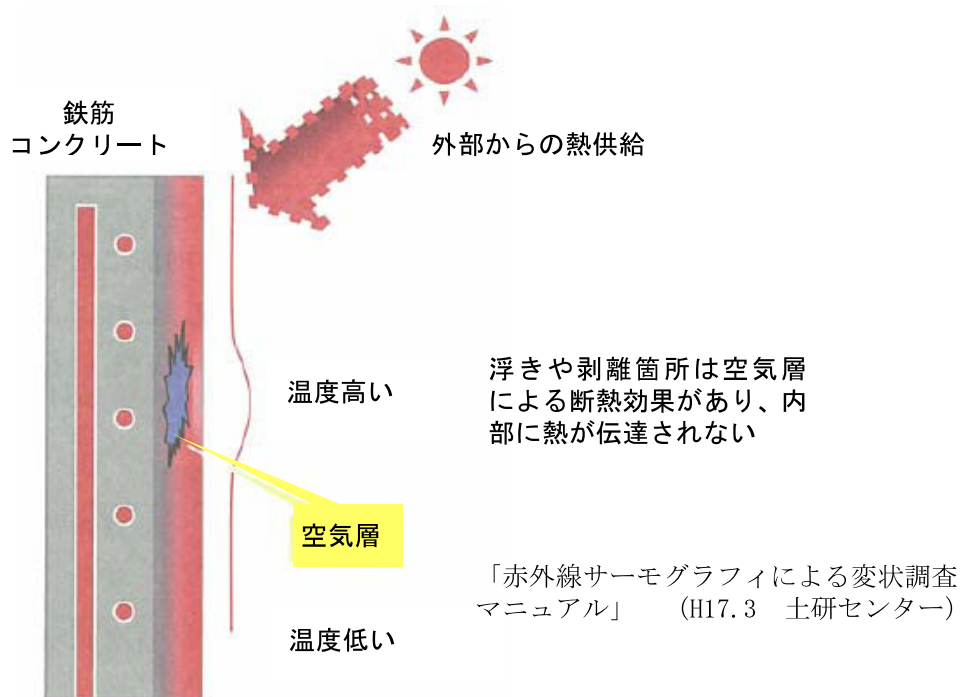


図 5.1 コンクリートの変状部に温度差が生じる原理

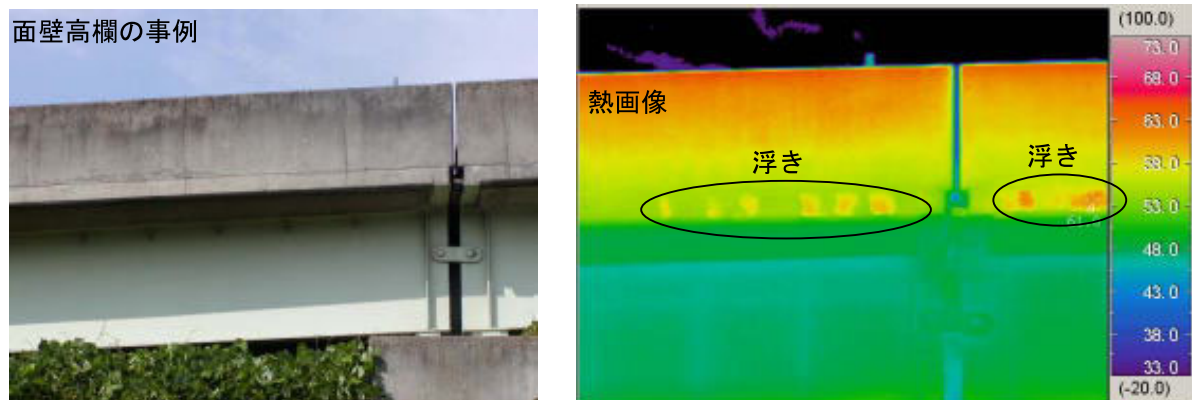


図 5.2 赤外線サーモグラフィーによる画像診断例

（2） その他の活用事例

赤外線サーモグラフィーを用いた変状調査はコンクリートだけでなく、鋼床版への適用、滑走路の基層と表層の層状はく離の調査事例がある。



図 5.3 鋼床版Uリブ内部の滞水調査の適用事例

5.3 床版上面の劣化探査のメカニズム

舗装に変状が現れている場合、舗装下面に空隙や滞水が生じて、床版上面に劣化が生じているケースがある。一方、桁端部や歩車道境界（特に排水装置付近）など、施工時に転圧しづらい箇所でも舗装に損傷が見られるケースがあり、舗装損傷と床版上面の劣化には必ずしも関連性がないが、舗装下面の空隙や滞水が床版上面の砂利化の前兆と考えられるため、舗装下面の空隙や滞水を発見できれば床版砂利化に早期に対策できる可能性がある。通常は舗装が直射日光などで暖められると一律に床版へと熱が吸収される。図 5.4 のように舗装下面に空隙があれば断熱効果によりコンクリートに伝わる熱が遮断されて周辺より高温になり、滞水があれば水により熱吸収されるため低温になると考えられる。

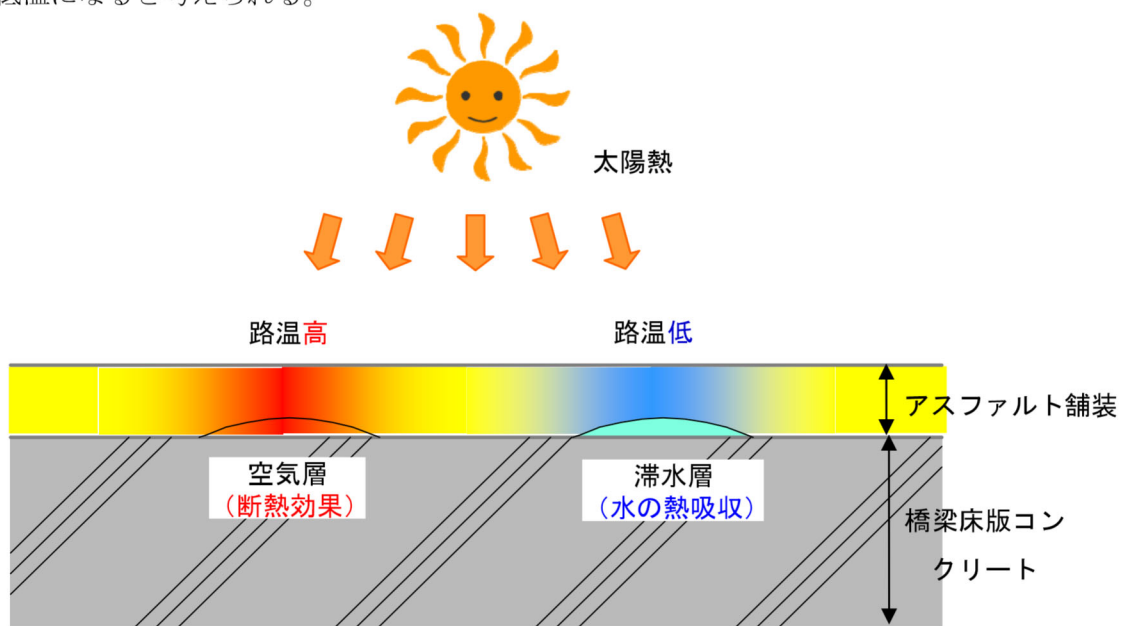


図 5.4 床版上面の劣化要因のイメージ

5.4 赤外線カメラによる事前調査

5.4.1 概要

赤外線カメラにより舗装面の温度がどのように撮影されるか、撮影する場合の外気温や路面温度に制限があるか等、撮影条件を確認するため本調査前に確認調査を実施した。図 5.5 に示す橋梁の P-3、P-3 近傍の舗装打継ぎ部（境界部）および P-7 に着目して調査した。なお、確認調査前日は降雨があったため、滞水箇所は舗装下面に浸水していると考えられる。

（調査日時：平成 22 年 12 月 1 日）

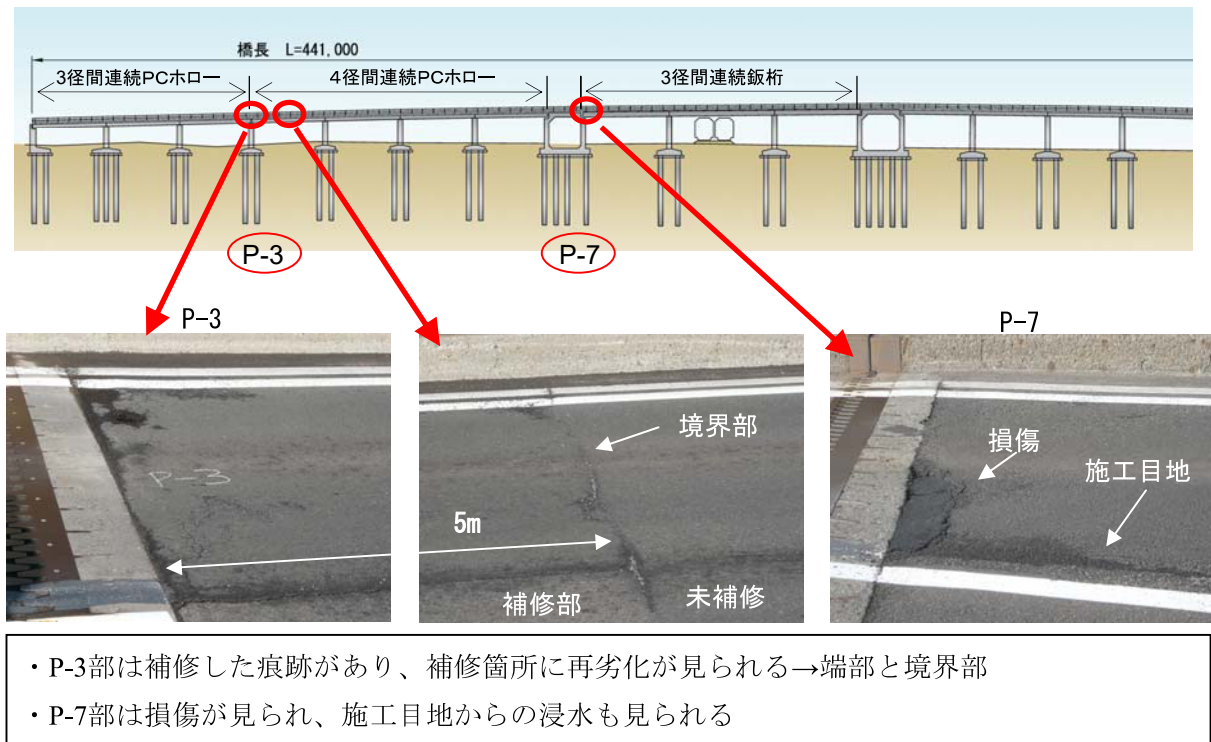


図 5.5 対象橋梁

調査時の温度は、朝 10 時の段階では外気、路面温度ともに 7℃以下であったが、11 時には 10℃を越える温度となった。11 時以降は P-3 は外気温の上昇とともに路温も上昇した。13 時には P-3 境界部および P-7 は外気温は下がったが、路温は直射日光の影響で温度は上昇した。（図 5.6）

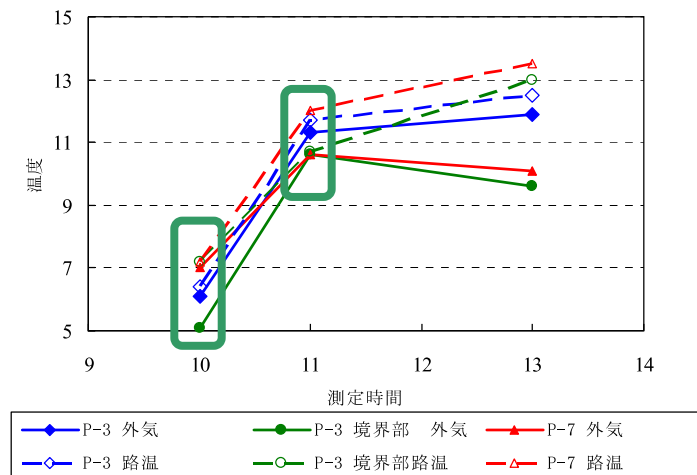


図 5.6 調査時の外気温および路温

5.4.2 調査結果

(1) P-3

① AM10 時の調査

P-3 の AM10 時の画像および温度をそれぞれ図 5.7、図 5.8 に示す。AM10 時の外気温は 6.1℃、路面温度は 6.4℃で、ポットホール部は周辺と 2℃程度の温度差が生じ、伸縮装置に沿って滞水している部分（低温箇所）は認識できるが、明瞭ではない。

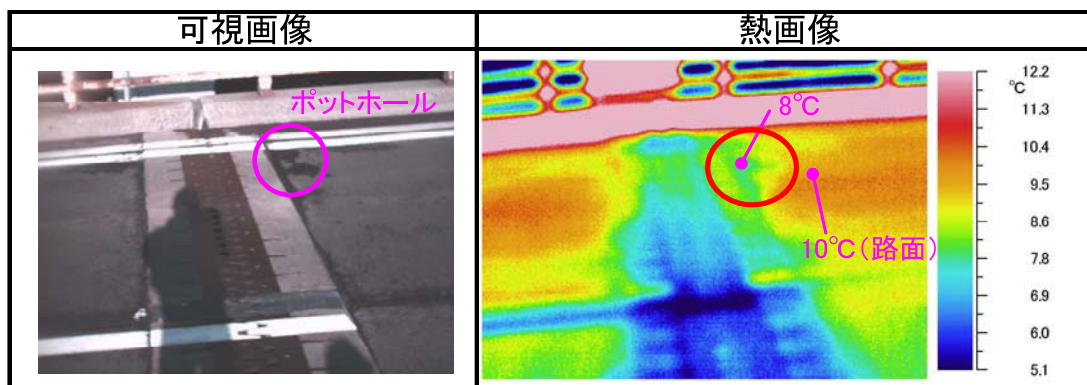


図 5.7 P-3 AM10:00 の可視画像と熱画像
測定時の外気温と路温（P-3）

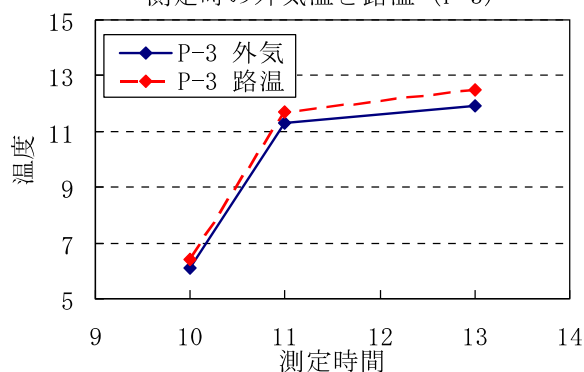


図 5.8 P-3 の外気温と路面温度

② AM11 時の調査

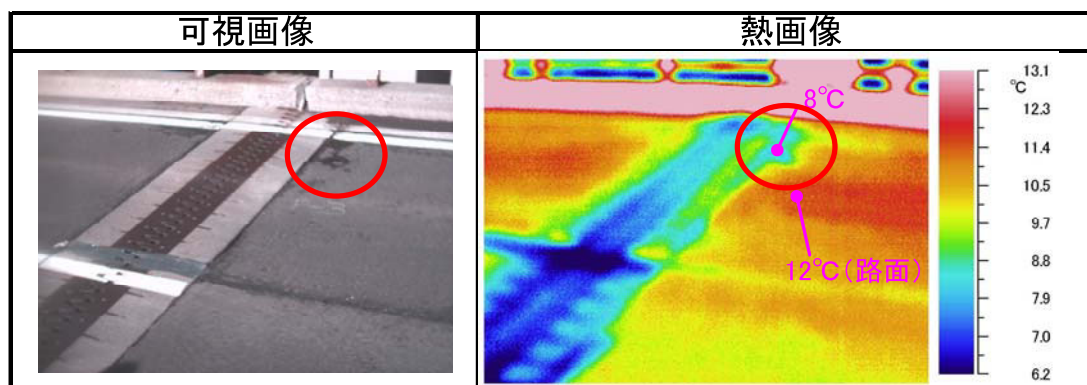


図 5.9 P-3 AM11:00 の可視画像と熱画像

AM11:00 には外気温が 11.3℃、路面温度は 12.7℃に上昇し、ポットホール箇所は 4℃程度低温となっている。AM10 時の画像に比較し、温度差がより鮮明となった。外気温および路面温度が上昇したことによるものと考えられる。

③ PM13 時の調査

PM13 時には路面温度が 13℃程度まで上昇し、ポットホールは 9℃でより明瞭に滞水していると想定される範囲が現れている。これらを比較すると、路温が 12℃程度以上で低温（滞水）箇所が明瞭に認識できる。

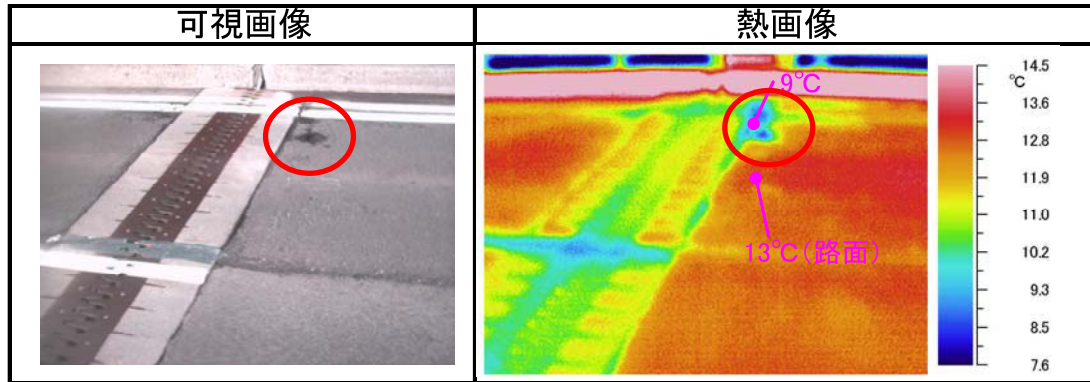


図 5.10 P-3 PM13:00 の可視画像と熱画像

(2) P-3 境界部

① AM10 時の調査

P-3 境界部の画像および温度をそれぞれ図 5.11、図 5.12 に示す。外気温は 5.1℃、路面温度は 7.2℃で、打継ぎ部は周辺と 1℃未満の温度差で、明確に打継ぎ部が認識できない。

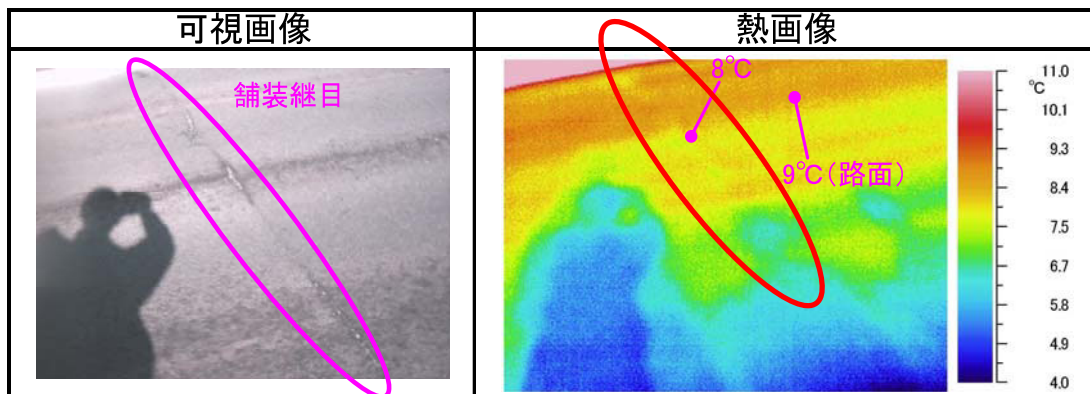


図 5.11 P-3 境界部 AM10:00 の可視画像と熱画像

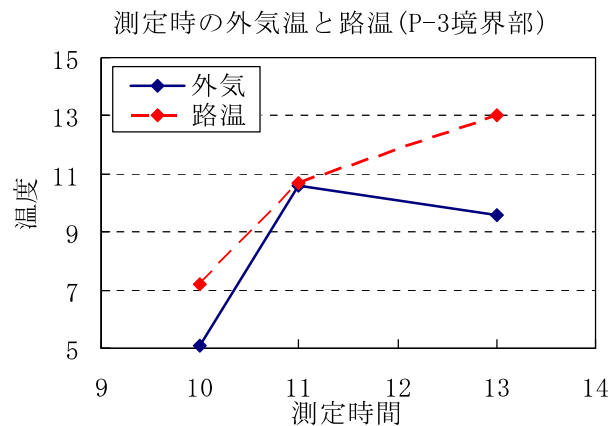


図 5.12 P-3 境界部の外気温と路面温度

② AM11 時の調査

AM11 時は路面温度が 11℃まで上昇し、打継ぎが確認できる。

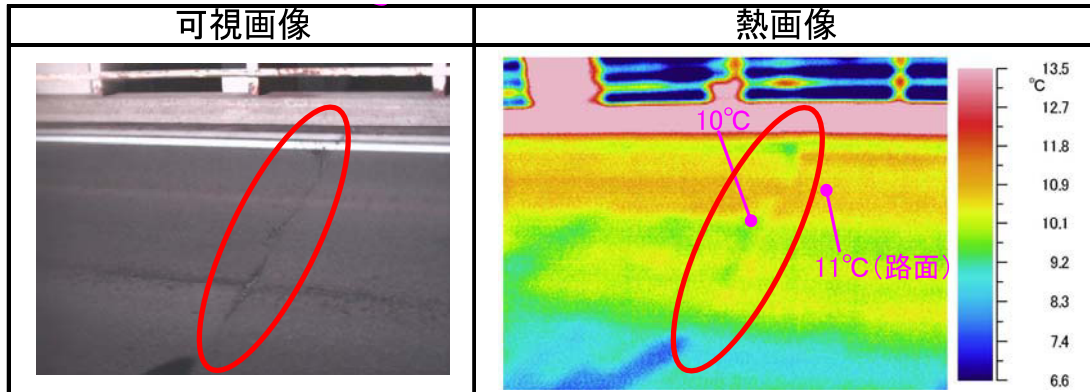


図 5.13 P-3 境界部 AM11:00 の可視画像と熱画像

③ PM13 時

PM13 時には外気温は 9.6℃に低下したが、路面温度は 13～14℃程度に上昇した。路面温度の上昇は直射日光の影響と考えられる。熱画像には打継ぎがより明瞭に現れている。また、縦断方向に低温部が確認でき、滞水が想定される。

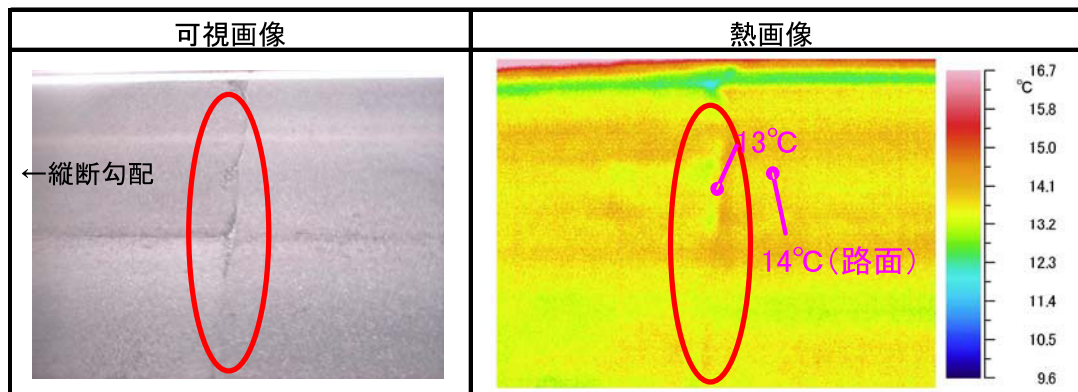


図 5.14 P-3 境界部 PM13:00 の可視画像と熱画像

(3) P-7

① AM10 時の調査

AM10 時は外気温 7.2℃、路面温度は 7.2℃であった。

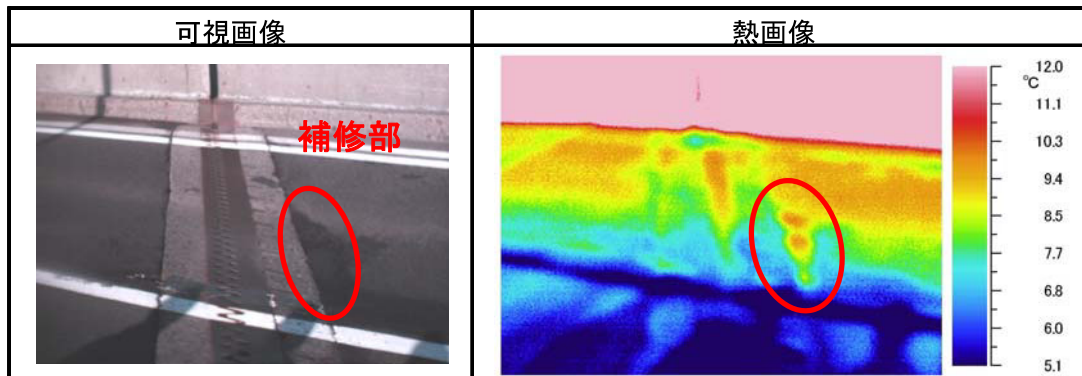


図 5.15 P-3 AM10:00 の可視画像と熱画像

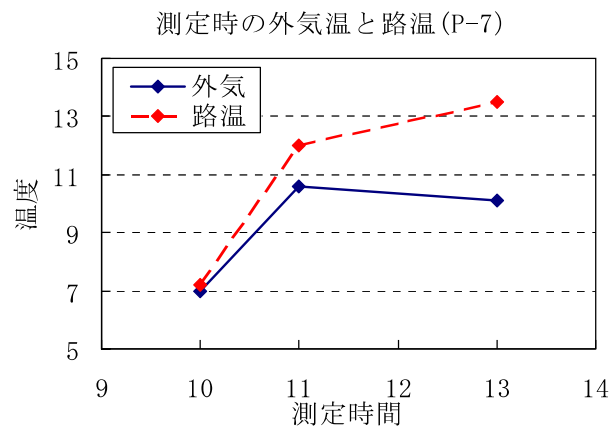


図 5.16 P-7 の外気温と路面温度

② AM11 時の調査

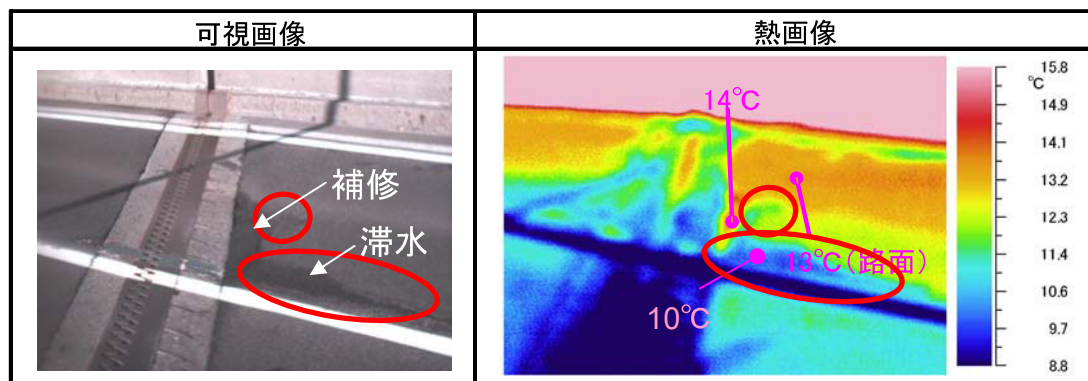


図 5.17 P-3 AM11:00 の可視画像と熱画像

5.5 実橋調査

実橋の調査結果について、以下に示す。写真 5.3 のように歩車道境界側に舗装からコンクリートの析出物が噴出した状態の橋梁である。この橋梁では直ちに舗装を撤去して床版上面の目視調査を行った。その結果、写真 5.4 のような床版上面の砂利化が確認された橋梁である。このような砂利化現象が他にも発生している可能性があるため、赤外線カメラで全体の調査を実施した。



写真 5.3 調査事例

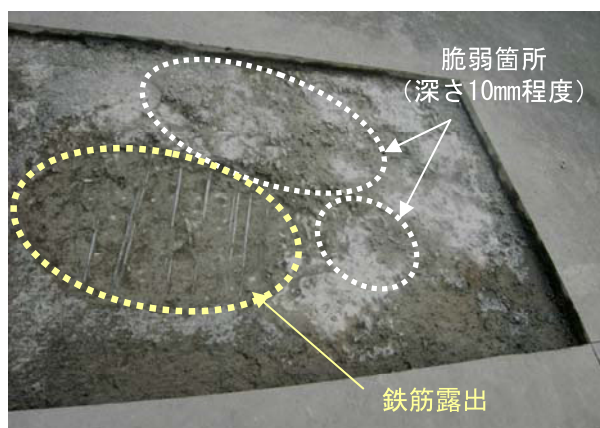


写真 5.4 床版上面の砂利化（舗装撤去後の確認）

5.5.1 調査概要

調査は車線規制を行い、高所作業車を用いて高所から連続的に静止画を撮影した。調査時の天候は快晴、外気温は 26.8℃～27.3℃であった。



写真 5.5 調査風景

(1) 路面状況

対象橋梁の路面状況を図 5.18 に示す。A1 および A2 の 2 箇所で舗装の部分打ち替えが行われている。

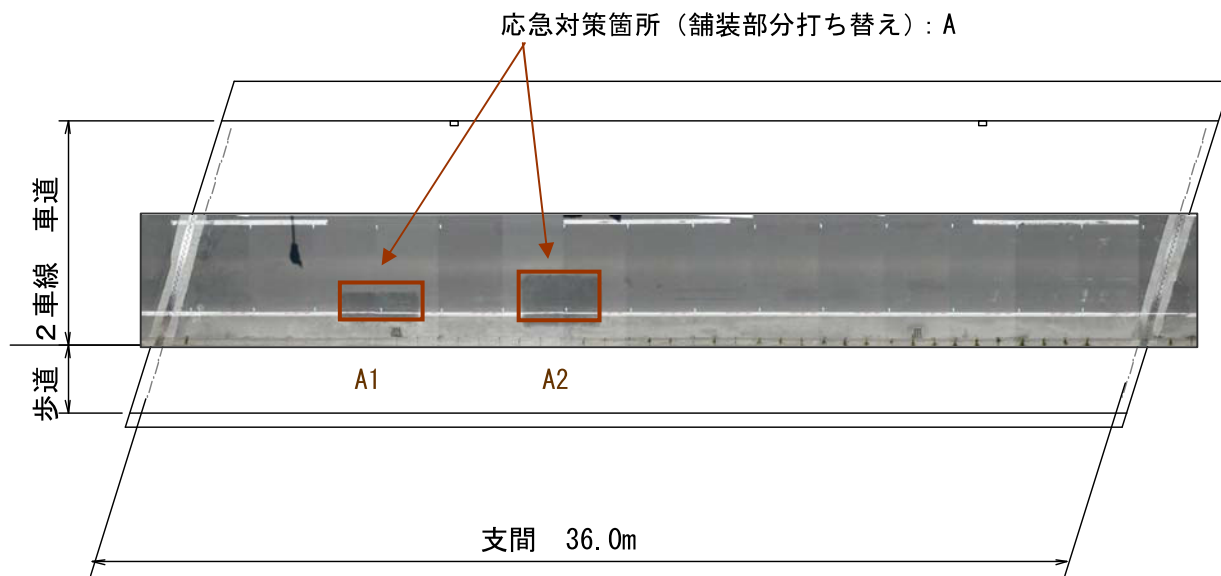


図 5.18 路面状況

(2) 調査対象橋梁の概要

- ・形 式：単純合成鈑桁
- ・支間長：36.0m
- ・主桁間隔、床版厚：B=4@2500，t=190mm
- ・竣 工：1977 年
- ・片側 2 車線の橋梁
- ・歩道側 1 車線分を調査（3.25m）

(3) 調査に使用した赤外線カメラ

赤外線カメラ仕様

メーカー	NECAvio赤外線テクノロジー
型式	TVS-500EX
観測温度範囲	-40～500℃
最小温度分解能	0.05℃以下(S/N改善時)
測定精度	対象物温度100℃未満±2℃
フレームタイム	1/60秒
検出素子	2次元非冷却マイクロボロメータ(320H×240V素子)
測定波長	8～14μm
測定視野角	19.4°(H)×14.6°(V)(f=22mm) 39°(H)×29°(V)(f=11mm)
空間分解能	1.07mrad
測定距離	30cm～∞
有効表示画素数	320(H)×240(V)
熱画像表示	3.5インチ半透過型カラー液晶モニター
動作環境条件	-10℃～50℃/80%以下(結露無)
寸法	140(W)×226(D)×140(H)mm
本体質量	約1.9kg(バッテリー含まず)



5.5.2 調査結果

調査による熱画像を図 5.19 に示す。本図は静止画像で撮影したものをつなぎ合わせたものである。

調査上の課題として、以下の点が判明した。

- ①照明柱（B1）や車線規制用コーン（B2）により日陰となる部分は低温となるため、調査に影響が生じるが、部分的である
- ②規制外を走行する車両の風圧により表面が低温（B3）になる場合があり、調査の支障となる
- ③高所作業車からの熱風の影響（B4）が生じる
- ④温度ムラ（C1～C7）が見られる

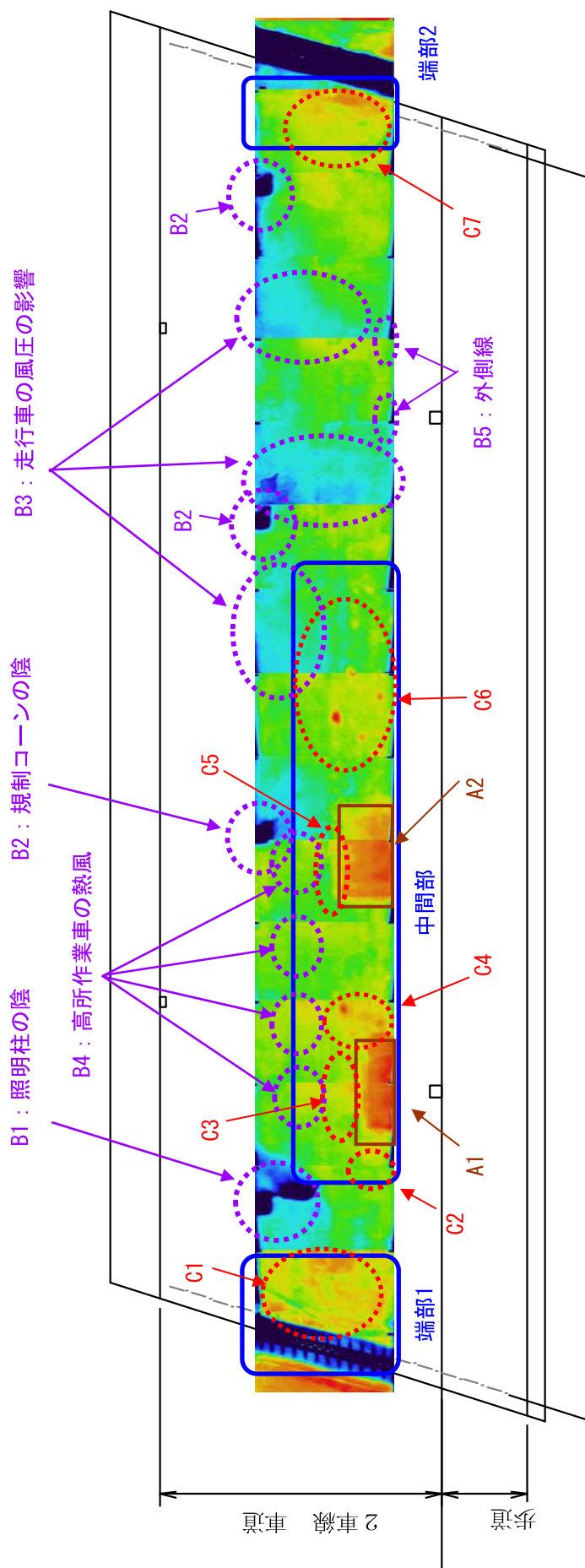


図 5.19 熱画像

5.5.3 温度ムラ箇所の詳細調査

熱画像で温度ムラが見られた箇所において、舗装を撤去して床版上面の状態を確認した。

図 5.20 に示す温度ムラが比較的大きい C4 箇所では表面 10mm 程度、C6②では 20mm 程度の脆弱箇所が見られ、C6①では鉄筋が露出した状況であった。また、図 5.21 でも C6③に 10mm 程度の脆弱箇所が見られ、床版上面の脆弱箇所が舗装上面の温度分布に現れていることが確認された。

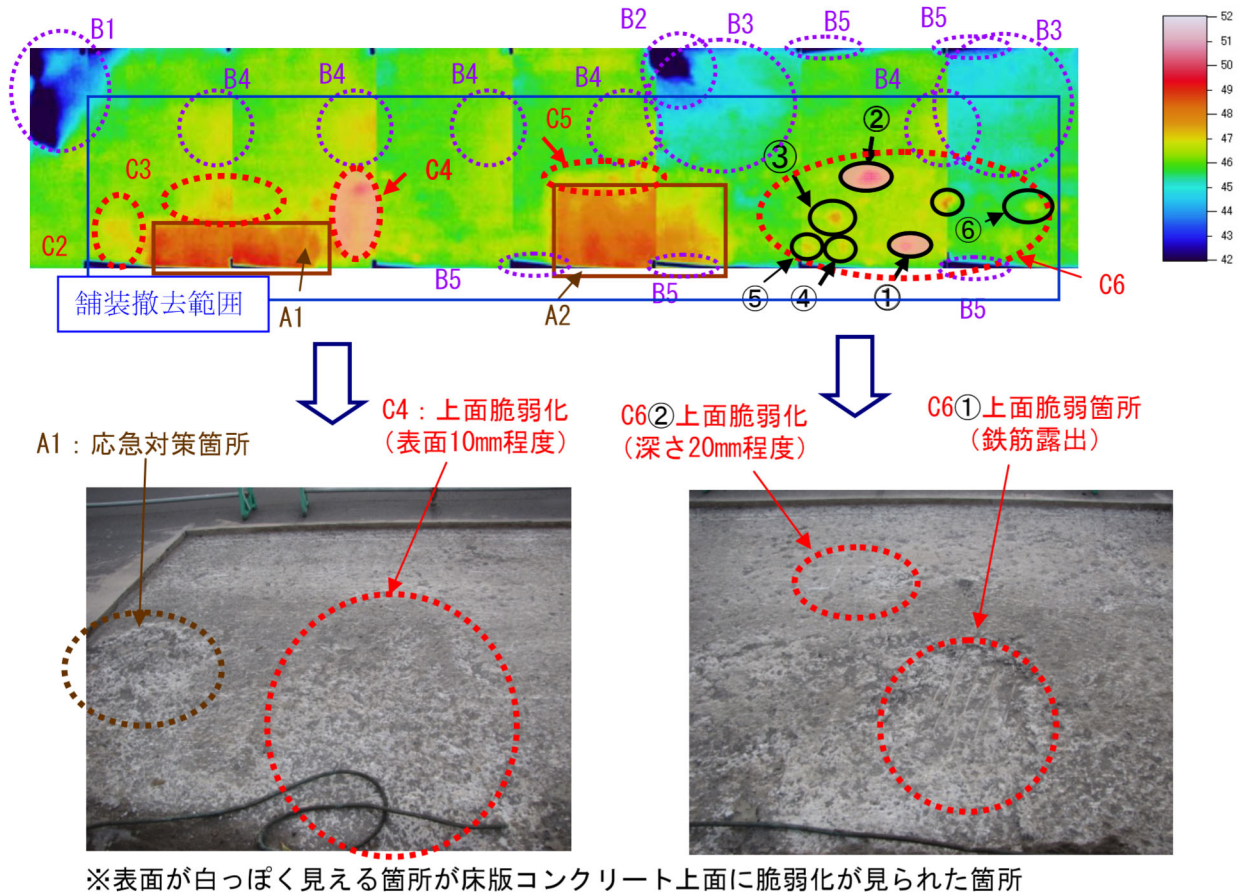


図 5.20 舗装撤去後の床版上面の脆弱化の状況（その 1）

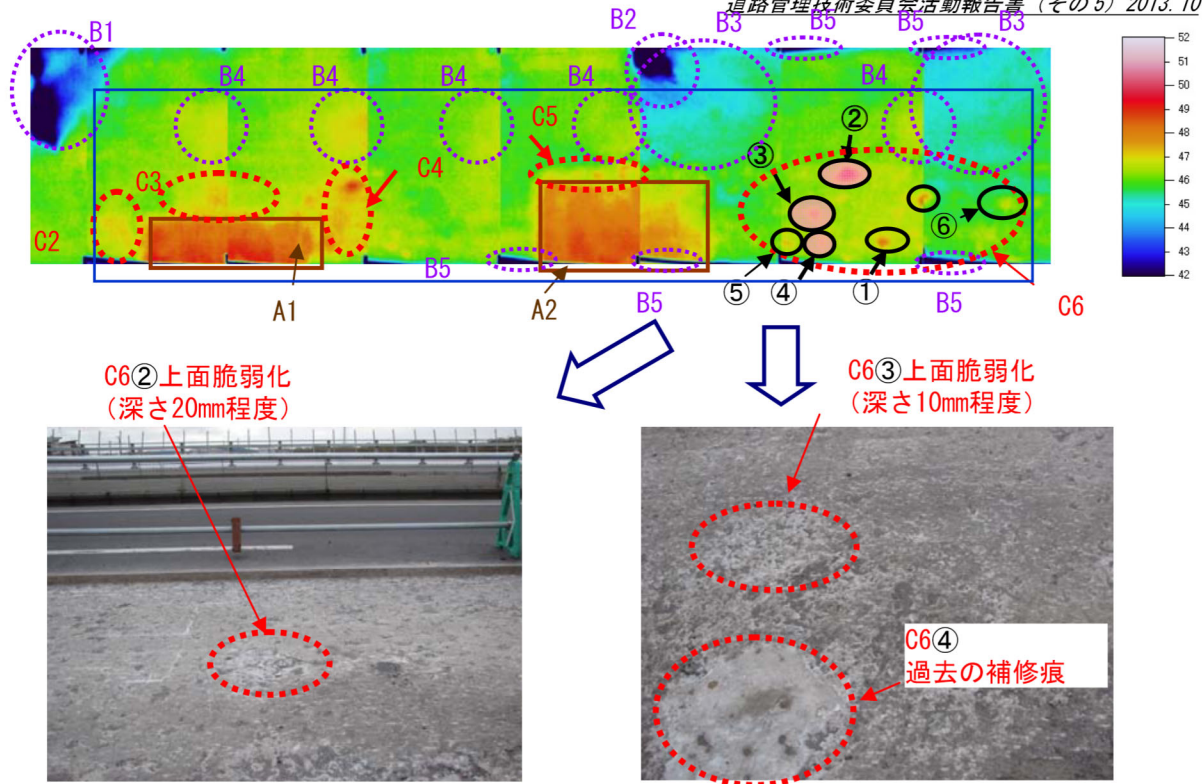


図 5.21 舗装撤去後の床版上面の脆弱化の状況（その2）

一方、温度ムラが小さい C6⑤では損傷はなく、C6⑥には上面の脆弱化がわずかに見られる程度であった。

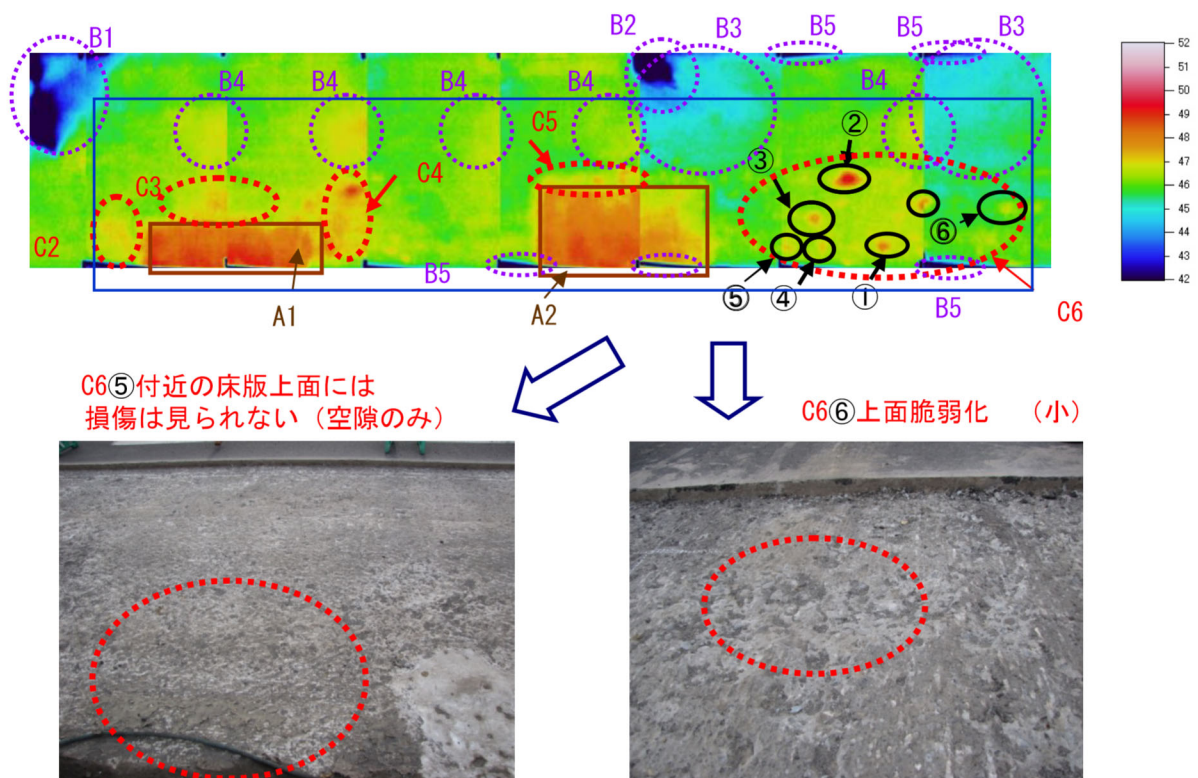


図 5.22 舗装撤去後の床版上面の脆弱化の状況（その3）

5.5.4 調査結果のまとめ

調査の結果から、以下の知見が得られた。

- ・ 赤外線サーモグラフィーによる路面調査で、路温差や外的要因など様々な影響により温度ムラが検出される（A）、（B）
- ・ 床版上面の劣化に影響していると考えられる舗装空隙は強い温度ムラが現れ、舗装空隙を検出することができた（C）
- ・ 舗装空隙には床版コンクリートに脆弱化している箇所も確認された。（D）
- ・ 床版上面の劣化確認は舗装を除去して調査する必要があるが、赤外線サーモグラフィー調査により詳細調査が必要な箇所（舗装を撤去しての直接目視調査）を絞り込むことが可能である

5.6 赤外線サーモグラフィーの今後の展望

本検討における熱画像の撮影は高所作業車を用いて静止画を撮影して、それらを連続的につなぎ合わせた。赤外線画像を連続撮影して車両に搭載すれば、効率的な路面温度調査が可能となる。