

# 赤外線カメラによるポットホール発生危険部位の診断技術に関する基礎検討

丸山 記美雄<sup>1</sup>・星 卓見<sup>1</sup>・木村 孝司<sup>1</sup>

<sup>1</sup>寒地土木研究所 寒地道路保全チーム(〒062-08602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目)

本報では、融雪期にポットホールが発生する可能性が高い部位を、赤外線カメラで非破壊診断する技術の開発に向けた検討を行っている。現道での赤外線計測結果とポットホール発生部位の対応関係を調べた結果、ポットホール発生部位の赤外線画像は周辺部に比べて局部的に異なることが確認された。また、舗装内部の確認調査の結果、赤外線画像異常部分の混合物層内部には水分の含浸や混合物の砂利化、層間空隙などの変状が認められた。

キーワード：赤外線 ポットホール 点検診断 非破壊

## 1. 研究の背景と目的

近年、北海道内の舗装道路では融雪期にポットホールの発生が目立つようになっている。ポットホールに対する対応としては、発生の都度、穴埋めなどの事後的な対応が行われているのが現状であるが、ポットホールが発生する危険性の高い部分を、発生前の早期の段階で検知する技術があれば、予防的な処置や事前の補修を施すことで融雪期のポットホールを減らすことができると考えられる。

しかし、ポットホールの発生を事前に検知する技術は未確立で、研究が必要な段階にある。筆者らの既往の研究によって、融雪期に発生するポットホールはひび割れが元々存在する部分でかつ水の影響を受けやすいところに高い確率で発生することがわかっており<sup>1)</sup>、水の影響を受けやすい部分は周囲と温度が異なると推測されることから、赤外線カメラによってポットホール発生危険部位の検知の可能性があると考えられる。ちなみに、舗装体内部のはく離やブリスタリング等の損傷検知のために固定赤外線カメラを用いた調査はこれまでも行われているが、ポットホールの発生を事前に検知する視点で取り組まれている事例はなく、ポットホール発生を事前に検知するために必須の技術となる広範囲のスクリーニング的な調査技術についても課題がある。

そこで本研究は、ポットホールに代表される融雪期に顕著に見られる損傷箇所を、赤外線カメラによって事前に検知する技術を開発することを最終目的としている。本報告では、近年開発が進んできた、交通規制を行わずに法定速度で調査車両を走行させて赤外線熱計測をする技術<sup>2)</sup>を活用し、赤外線カメラによって供用中の道路を交通規制することなく計測して得られたアスファルト舗

装の熱分布画像から、融雪期のポットホール損傷に至るような温度変状を検知する技術の開発に向けた基礎的な検討を行った結果を報告する。

## 2. 赤外線熱計測の原理

赤外線熱計測は、構造物における素材の違いや損傷の有無などの物質の状態に基づく赤外線放射量を赤外線サーモグラフィカメラで感知し、それから変換した温度の相違に基づき、外観から見えない内部の状態を把握する手法である。

構造物内部に含水、滞水、空隙等の異常が発生した場合、健全部と異常部では状態が異なるため、熱容量に相違が発生する。熱容量の相違は温度の相違となり、内部から表面上に伝わる温度にも相違が発生する。そのため、異常が発生した部位では、表面温度が健全部に比べて相対的に高いもしくは低い状態となる。

例えば図-1に示すように、アスファルト舗装内部で含水や滞水している場合、加熱過程時であれば周囲よりも低温となり、一旦加熱された後の冷却過程時であれば周囲よりも高温となる。一方、アスファルト舗装内部で空隙が発生した場合は、昼間の太陽光による路面の加熱過程時であれば、表面側からの熱の伝導が空隙の空気層によって遮られるため、空隙直上の部分は周囲のアスファルト舗装よりも早く熱せられ、周囲よりも高温となる。逆に夕方以降の気温降下に伴う冷却過程時であれば、空隙直上の部分の温度低下が早く、周囲よりも低温となる。すなわち滞水と空隙では一般的に温度平衡状態の場合を除き、温度の相対的な表出状態が反対になる。

既往の研究によって、融雪期に発生するポットホールはひび割れが元々存在する部分でかつ水の影響を受けているところに高い確率で発生することがわかっている<sup>1)</sup>。また、ポットホールはアスファルト混合物層のうち路面に近い浅い部分に発生しやすいため、ポットホール発生の前段階から表面付近に熱的な異常が現れやすいのではないかと推測される。したがって、ひび割れ周辺に多くの水分を含んだ状態になっているところや、水の影響を受けやすいところを赤外線カメラによる熱画像計測で温度変状箇所として抽出できれば、ポットホール発生危険部位の事前検知に有用な情報が得られると考えられる。

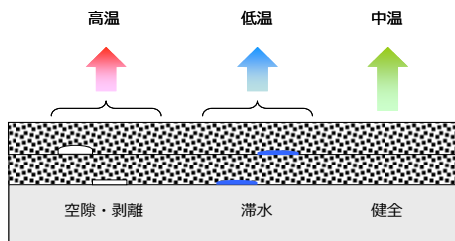


図-1 健全部や滞水部の赤外線画像の傾向  
(路面の加熱過程時)

### 3. 調査の方法

調査は第一次調査と第二次調査の2種類実施している。第一次調査の目的は、赤外線カメラ画像の異常箇所とポットホール発生部位との関係性を把握することである。第二次調査の目的は、赤外線カメラの異常箇所の内部に水分の含浸やはく離(混合物の砂利化)や空隙などの異常が見られるかを現地確認する事である。以下に、各々の調査方法を述べる。

#### (1) 第一次調査の方法

第一次調査は赤外線カメラ画像の異常箇所とポットホール発生部位との関係性を把握することを目的に実施している。札幌市近郊のアスファルト舗装区間(延長5km)において、秋期(12月上旬)に、赤外線サーモグラフィカメラを用いて非破壊、非接触で路面測定を行った。赤外線サーモグラフィカメラは写真-1に示すような車両に搭載し、通常の走行速度(60km/h以下)で車線規制などは行わずに赤外線計測を実施した。赤外線計測にあわせて、赤外線画像と同じ部位を可視画像でも撮影し、路面及び道路周辺の状況を把握した。アスファルト舗装の熱画像から、内部の含水や滞水に起因する温度変状箇所を抽出した。計測時の各種条件は以下のとおりである。

計測時間帯：10時～14時

気象条件：晴れ、早朝まで若干の降雪あり

計測時の路面状態：ほぼ乾燥状態

走行速度：法定速度内で実施(60km/h以内)

また、秋期に赤外線計測を実施した5km区間において、

一冬経過した3月中旬に目視調査を行って融雪期にポットホールが発生した位置を特定し、当該位置の秋期の赤外線画像における温度変状の有無等との対応を整理した。



写真-1 赤外線カメラを搭載した調査車両

#### (2) 第二次調査の方法

第二次調査は、赤外線画像で異常が見られる箇所の内部に、水分の含浸やはく離や空隙などの異常が実際にみられるかを確認することを目的にしている。

一次調査を実施した区間と同じ5km区間、および新たな調査区間2.5kmにおいて、秋期(11月)に写真-1に示した赤外線カメラ搭載車両にて非破壊測定を行った。得られた赤外線画像から、アスファルト混合物層内部に滞水やはく離もしくは空隙が発生していると推測される明確な画像異常箇所を計13箇所、また、比較のために健全箇所を2箇所抽出した。一冬経過した後に、異常箇所および健全箇所として抽出した部分を無水ボーリングによってコア採取し、コアの状態と内部の状態を目視観察および写真撮影して整合性を確認した。コア採取の状況の一例を写真-2に示すが、写真-2の上段に示した赤外線画像および可視画像に赤丸で示した部分でコア採取を行っており、この箇所では約5cm～20cm深さの部分に水分の含浸や混合物のはく離(砂利化)が見られた。



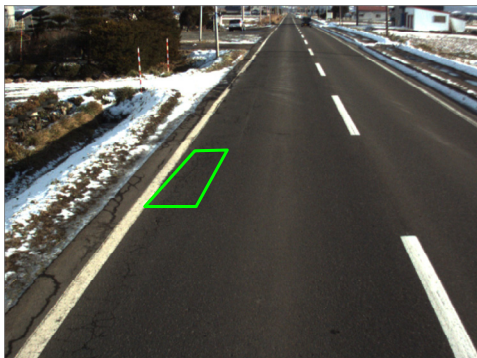
写真-2 赤外線画像異常箇所におけるコア採取状況

#### 4. 調査結果

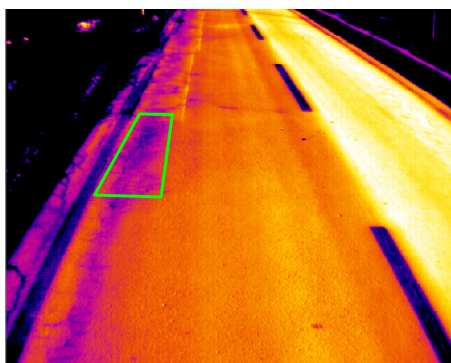
##### (1) 第一次調査の結果

##### a) 熱画像異常箇所の状況

赤外線計測時の舗装表面はほぼ乾燥状態であったが、前日までの雨や早朝までの降雪に伴う水分の影響で、多くの箇所では含水や滞水を示す温度の低下部分が確認された。特にひび割れなどの損傷が発生している周辺は、周囲と比較して温度が低い部分が多く見られ、ひび割れの周辺は含水している状態であると推測された。一例として、ある測定箇所の可視画像と赤外線画像を写真-3に示す。可視画像では水分の存在は見られず、ひび割れが見られる以外は特段の変状は気にならないが、赤外線画像では外側タイヤ走行位置に発生したひび割れの周辺が紫色で表示されており温度が部分的に低くなっていることが確認できる。これはひび割れ周辺のアスファルト混合物が含水や滞水によって温度が低くなっているためと推測される。同一の箇所を3月に目視調査した際の写真を写真-4に示すが、ポットホールが発生していた。写真-3、写真-4において緑色で示した枠はほぼ同じ部位を囲っているが、融雪期にポットホールが発生した部位は、秋期の赤外線計測時には温度低下がはっきりと記録されていることが確認できる。ひび割れ部付近の混合物は水の影響を比較的受けやすく、ポットホールの発生に繋がる危険性があるが、そのような部分は赤外線画像で周辺部と違いがあることが確認できた。



(可視画像)



(赤外線画像)

赤外線熱画像内：(低温) 濃い青←紫←橙→黄→白 (高温)

写真-3 同一箇所の路面調査時画像



写真-4 写真-3と同一箇所の目視調査時状況

(ポットホールが発生し穴埋めされている)

##### b) ポットホール発生部位の赤外線画像

表-1には、融雪期にポットホールが発生していた23の部位について、秋に撮影した赤外線熱画像と可視画像を詳細に確認した結果を示した。ポットホールの発生が確認された部位ほぼ全てで周辺部に比べて温度が低下していることが確認できた。ポットホール発生部位については含水状態や水分が滞留しやすい状態となっており、この水分が凍結・融解を繰り返すことによりポットホールの発生を引き起こすものと推察される。融雪期にポットホールが発生する危険性の高い部位を、発生前の段階で検知できる可能性が確認できた。

表-1 ポットホール発生部位の赤外線画像確認結果

No	秋期の路面状況	3月の目視調査時の路面状況	赤外線熱画像温度低下有無
1	損傷なし	ポットホール	有
2	ひび割れ	ポットホール	有
3	ひび割れ	ポットホール	有
4	パッチ	ポットホール	有
5	ひび割れ	ひび割れ、ポットホール	有
6	ひび割れ	ひび割れ、パッチ、一部ポットホール	有
7	ひび割れ	ひび割れ、一部ポットホール	有
8	ひび割れ、ポットホール	ひび割れ、ポットホール	有
9	ひび割れ、ポットホール	ひび割れ、ポットホール	有
10	ひび割れ	ひび割れ、ポットホール	有
11	ひび割れ、パッチ	ひび割れ、パッチ、ポットホール	有
12	パッチ	パッチ、ポットホール	有
13	ひび割れ	ひび割れ、ポットホール	有
14	ひび割れ、パッチ	ひび割れ、ポットホール	有
15	ひび割れ、ポットホール	ひび割れ、ポットホール	有
16	ひび割れ	ポットホール	有
17	ひび割れ、ポットホール	ひび割れ、ポットホール	有
18	ひび割れ、パッチ	ひび割れ、パッチ	有
19	ポットホール	ポットホール	有
20	ひび割れ、ポットホール	ひび割れ、ポットホール	有
21	ひび割れ、ポットホール	ひび割れ、ポットホール	有
22	ひび割れ	ひび割れ、ポットホール	無
23	ひび割れ	ひび割れ、ポットホール	有

c) 赤外線画像の温度変状とポットホール発生箇所

図-2には、赤外線計測を行った5km区間を100m区間ごとに区分し、各々の区間を10m毎に撮影した熱画像10枚のうち、水の存在に起因すると思われる温度低下が見られた画像の枚数の多さに応じて青色を濃くし、車線部は横断方向に3分割して表示した。つまり、青色が濃い区間ほど、水の影響を強く受けていると推測される。上下線とも幅広く温度低下箇所が見られ、特に、車道部の路肩に近い側に多く温度低下箇所が見られた。路肩側のタイヤ走行位置にはひび割れが多く発生しており、ひび割れ周辺が水の影響を受けて含水や滞水していたためと考えられる。

図-2には、調査区間内で融雪期後の調査でポットホールの発生を確認した23箇所を緑色の丸印で囲って示してある。ポットホールが発生した箇所は、概ね秋の調査の段階で水分の影響を受けて温度低下が記録されていた区間であることが確認できる。ただし、秋の段階で温度変状が見られた区間のうちでポットホールの発生に至らなかった区間も多く存在していることも指摘できる。

(2) 第二次調査の結果

a) ひび割れ部滞水暗示信号箇所の状況

可視画像や目視でひび割れが発生しており、かつ赤外線熱画像によってもひび割れ周辺部の温度が低く、内部に水分の含浸・滞水が疑われる箇所のコア採取結果の一

例を写真-5に示す。赤丸の位置で無水コアを採取し、採取したコアを写真上部に示しているが、表層および基層混合物が水分を含んでおり、路面から5cm下で層間の付着が悪化していることが確認できる。

同様の異常信号が見られる8箇所でもコア採取を行ったが、そのうち7か所で混合物層内部の比較的浅い層(路面から3~10cm程度の層)に水分を含んでいることが確認された。また、混合物層の内部に写真-2の下部に示したような離(砂利化)を生じているコアも3か所で確認された。

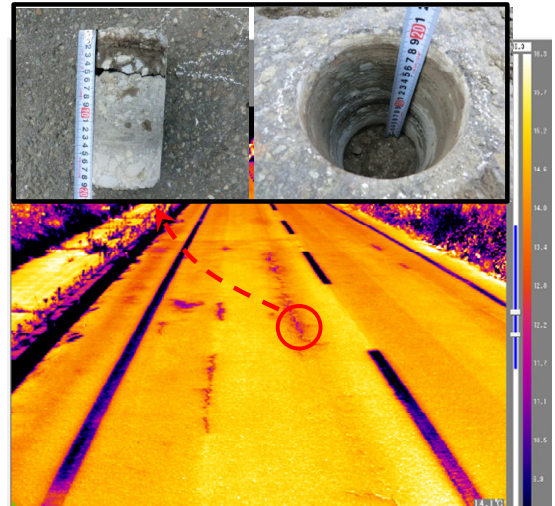


写真-5 ひび割れ部滞水暗示信号と採取コア

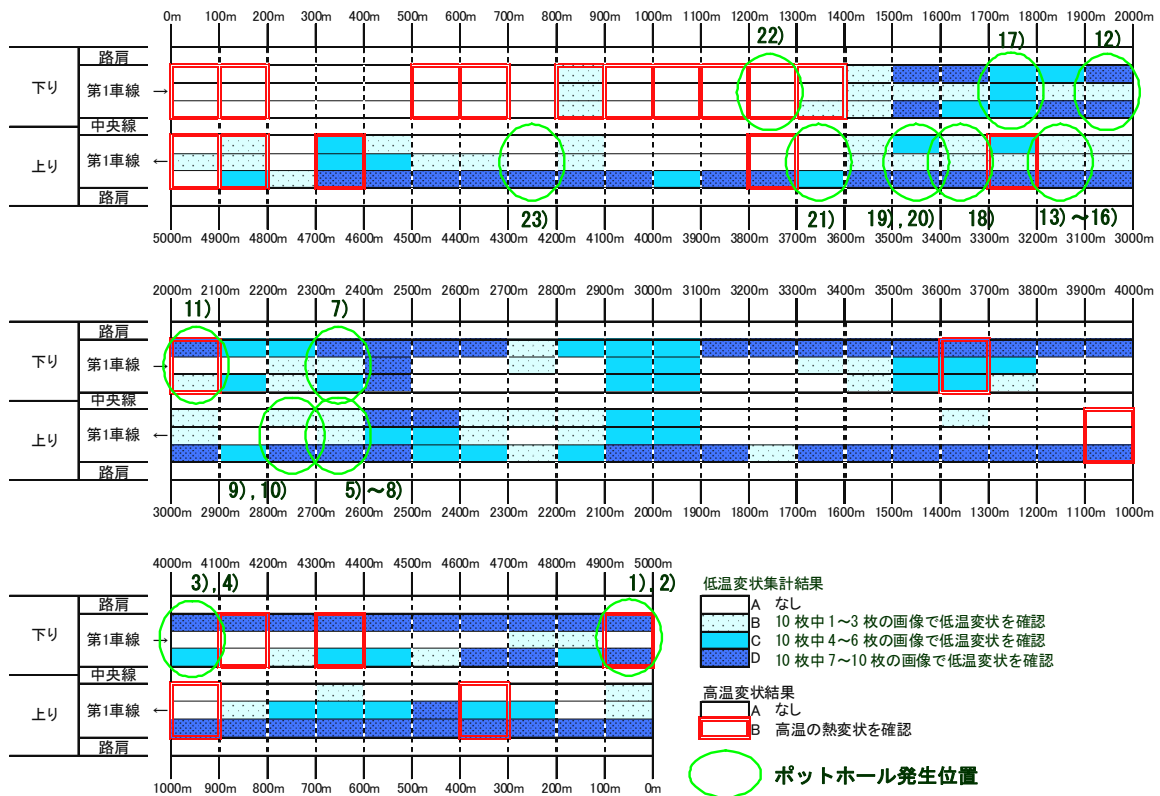


図-2 赤外線調査区間の温度変状箇所整理結果

## b) ひび割れ部滞水無し暗示信号箇所の状況

可視画像や目視で同じようなひび割れに見える場合でも、赤外線熱画像で見ると異なって見えることがある。一例を写真-6に示す。写真中の左側わだち部のひび割れの周辺部は温度が低くなっていて内部に水分の滞水が疑われる一方で、その近傍にある右側わだち部のひび割れの周辺部は特に温度の変状は見られず水分の滞水がないと判断できるといった具合である。写真-6の上下には、各々の箇所からコアを採取した写真を示した。滞水信号が見られる左側わだち部から採取したコアには水分の含浸が明らかに認められるが、滞水なしと判断した右側わだち部から採取したコアには、表面から5cm~15cm程度の間になぜか水分の含浸が見られるが総体的には乾燥した健全な状態であることが確認できた。表面からは同じようなひび割れに見える場合でも、内部状態が異なることを赤外線画像で察知できる場合があるといえる。

ただし、写真-7には、ひび割れ部であっても周辺部の温度低下が見られず滞水がないと判別した別箇所のコア採取結果を示す。採取したコアの内部は、表層3cmと基層の間の層間の付着が悪化し、10cm程度よりも深い位置に水分の含浸や混合物層の砂利化が認められ、判別が間違っていた。赤外線測定時の内部の水分状況や、測定時の太陽光線などが影響した可能性が考えられる。

ひび割れ部の滞水有無は、赤外線画像によって判別できる場合もあり、ひび割れの程度評価や損傷の発生予測に赤外線カメラが有用な面があると考えられるが、判別違いもあったことから、今後経験を蓄積して技術を高める必要があると考えられる。

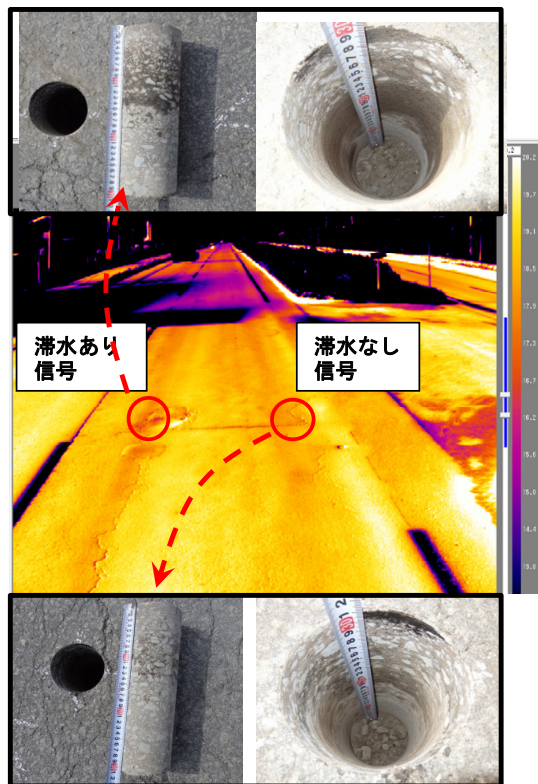


写真-6 ひび割れ部滞水無し暗示信号と採取コア



写真-7 ひび割れ部滞水無し暗示信号 判別間違い

## c) 層間空隙暗示信号箇所の状況

アスファルト混合物層の層間に空隙がある場合、赤外線熱画像においては、昇温時には周辺部よりも局部的に温度が高くなる。そのような箇所が無水コア採取を行った結果の一例を写真-8,9に示す。

写真-8に示した赤外線画像においては、タイヤ走行位置の脇に連続した白いスポット状（斑点状）の高温部分が確認できる。写真-9にはタイヤ走行位置の中間部にスポット状の高温部分が確認できる。この斑点状部分の中心ジャストポイントでコア採取した結果を写真-8,9の上部に示したが、表面から5cm深さ程度、表層混合物と基層混合物の層間に空隙が認められた。ただし、層間空隙部分は水分を含んでおらず、乾燥している点が特徴である。つまり、層間空隙があり、かつ、空隙部分に水分が浸入してきていない場合に、このような高温のスポット状の異常信号として表れると考えられる。

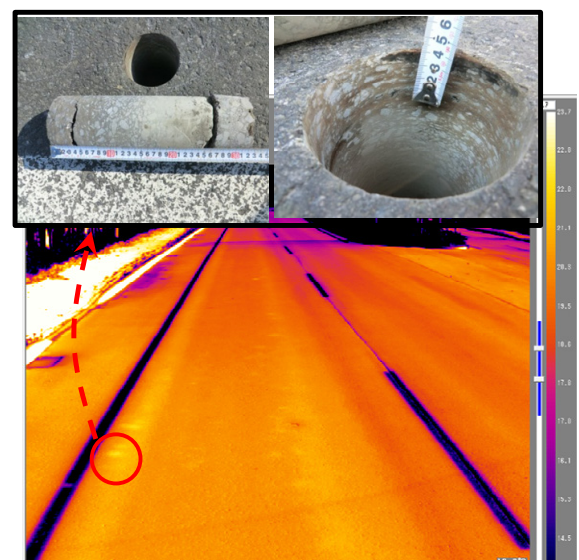


写真-8 層間空隙暗示信号と採取コア(その1)

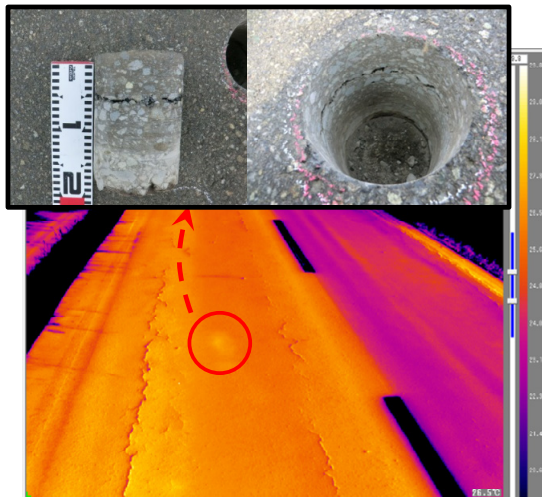


写真-9 層間空隙暗示信号と採取コア(その2)

#### d) 健全信号箇所の状況

赤外線熱画像において、健全であると判断された部分でコア採取を行った結果の一例を写真-10に示す。写真-9に示した層間空隙暗示信号箇所から1m程度離れた箇所でコア採取したものであるが、約8~12cm程度の深さに水分の含浸がわずかにみられたものの、全体的には乾燥しており層間の空隙などが無い健全な状態である。赤外線熱画像で温度変状が認められない部分の内部は、このような健全な状態であると考えられる。

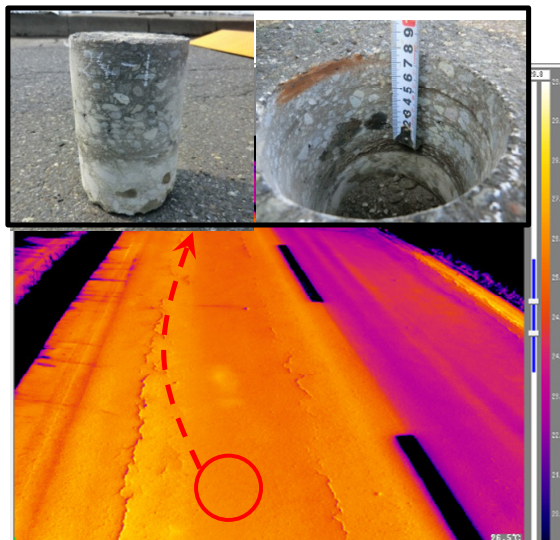


写真-10 健全信号箇所と採取コア

#### e) 赤外線画像と採取コアの整合性

赤外線画像から推定された異常と、無水コア採取調査による内部状態の整合性判定結果を表-2に示す。

ひび割れ部滞水暗示信号箇所においては、コアを採取した8箇所のうち、7箇所で内部の比較的浅い層に明らかな水分の含浸が確認され、その整合率は約88%であった。層間空隙暗示信号箇所では、3箇所のうちすべてで表面から5cm程度の部分に層間空隙が見られ、空隙内部は乾

燥した状態であり、整合率は100%であった。

本検討では、赤外線熱画像で明らかな異常が見られる部分で内部の状態を調査とした面はあるが、赤外線熱画像から推定される変状と内部の状態は高い確率で整合しており、赤外線カメラによる舗装の診断の有用性が認められたと判断する。

道路のアスファルト混合物層は数センチ~35cm程度であり、ポットホールの発生につながるのは、表層に近い部分の変状であることから、赤外線カメラによってポットホールの発生危険部位を診断することは一定程度可能であり、将来的に有用な点検診断技術になりうると考えられる。

表-2 赤外線信号と採取コアの整合性集計表

分類	コア採取 実施件数(件)	整合 件数(件)	整合率 (%)
a) ひび割れ部 滞水暗示信号箇所	8	7	87.5
b) ひび割れ部 滞水無し暗示信号箇所	2	1	50
c) 層間空隙暗示信号箇所	3	3	100
d) 健全信号箇所	2	2	100
合計	15	13	86.7

## 5. まとめ

舗装に生じたひび割れの周辺部の水分の存在によって温度変状が生じており、その温度変状を通常走行中の車両に搭載した赤外線カメラで検出できることを確認した。さらに、融解期にポットホールが発生する部位は、秋の段階で温度変状が記録されており、ポットホール発生危険部位の検知の可能性が示された。一方で、秋の段階で温度変状が見られてもポットホールの発生に至っていない箇所も多く存在していることなどから、検知の確実性を高める取り組みが今後必要と考えている。

謝辞：本調査にご協力いただいた北海道開発局ならびに札幌開発建設部の関係者に謝意を表す。

## 参考文献

- 丸山記美雄・安倍隆二・熊谷政行：融雪期の舗装損傷発生条件に関する一検討，土木学会北海道支部平成25年度論文報告集(第70号)，2014.2
- 塚本成昭・山上哲示・内間満明・黒須秀明・前田近邦・関上直浩：赤外線による舗装の点検手法，舗装 vol. 46-7，2011.7