

## 積雪寒冷地における道路舗装の予防保全に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：熊谷政行、丸山記美雄、

吉川敏之、磯田卓也、井谷雅司

### 【要旨】

本研究では、積雪寒冷地での道路の損傷、劣化を早期に予測する道路診断方法と舗装の延命化のための予防的対策手法を確立し積雪寒冷地における道路舗装の維持管理の効率化に取り組む。

本年度は、舗装の予防保全のための診断手法の検討として、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手法に関して基礎的な調査検討を行った。その結果、赤外線カメラによってひび割れ周辺部に温度変状が確認され、そのような箇所の一部でポットホールが発生することを確認した。また、舗装の予防保全手法の一つとして位置づけられるひび割れ抑制シート工法による補修効果の検証を行った。その結果、ひび割れ抑制シートによって疲労ひび割れ部のリフレクションクラックの発生を抑制する効果が確認された。

キーワード：予防保全、道路診断方法、予防的対策手法、赤外線カメラ、ひび割れ抑制シート

### 1. はじめに

道路予算の縮減に伴い、道路建設時のみならず維持管理時のコストダウンが強く求められており、既存のストックをより長く活用する技術が必要となっている。舗装の劣化をより早く把握することができれば、予防保全による効率的、効果的な資産管理が可能となるが、そのためには、道路舗装の劣化を未然に、または早期に診断する技術が必要である。また、舗装の修繕が必要となる前に、未然の対応を取ることによって延命化されコスト縮減が可能となる。

予防保全のための診断手法としては、FWD やレーダ探査技術や赤外線計測技術などが考えられるが、診断技術は開発途上にあり検討の余地がある。また、未然の対応方法としては、ひび割れへのシール材注入や、既設舗装表面上に表面処理や薄層舗装をひび割れ抑制シートと併用しながら行うなどの予防保全工法がある。これらの工法によって劣化を軽減させることができれば、舗装は延命化され、LCC の縮減が可能になると期待される。しかし、これらの予防保全工法の延命効果や耐久性に関しては明らかになっておらず、検証が必要である。

そこで本研究では、道路の損傷、劣化を早期に把握する道路診断手法に関する検討と、積雪寒冷地における舗装の予防保全工法の効果や耐久性などに関する調査検討を行った結果について報告する。

### 2. 舗装の予防保全のための診断手法の検討

舗装の損傷に対して予防的に診断をする手法としては、目視によるもの、機器を用いるもの、破壊を伴うもの、非破壊で行うものなど、様々な手法があるが、本研究においては、非破壊で舗装の損傷を早期の段階で検知する診断手法に重点をおいて検討を進めている。昨年度は、FWD 散逸仕事量による舗装体の疲労度を診断する方法と、電磁波レーダによって橋面舗装内部の舗装混合物の状態や床版コンクリートの損傷状態を検知する技術についての検討を報告した。今年度は、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手法に関して基礎的な調査検討を行った結果を報告するものである。

赤外線カメラを用いて舗装体内部の損傷を非破壊かつ非接触で調査する手法としては、これまでも赤外線カメラによる計測法が用いられてきた部分があるが、主に固定カメラによる静止画像によって診断するものであり、予防保全を行う際に必要となる広範囲のスクリーニング的な調査への適用性に難点があった。また、診断目的も舗装のプリスタリングや内部のはく離発生などを事後的に検知することに絞られており、本研究で対象としているような融雪期のポットホールなどの損傷の発生を事前に予防的に検知する技術としての検討は行われていない。

そこで本研究では、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>1)2)</sup>の開発が近年進んできた点に着目し、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調査を行い、基礎的なデータの取得と整理を行った。

## 2. 1 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、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(図-1)。

本研究では、特にポットホール発生箇所の事前検知に重点をおいた検討を行うものである。別途実施している研究によって、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いるので、そのような部分を赤外線カメラによって検知することができればポットホール発生危険部位の事前検知が可能になると考えられる。つまり、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することで、ポットホール発生危険部位の事前検知が可能になるのではないかと考えられる。

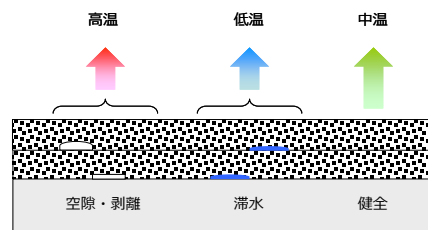


図-1 健全部や滞水部の赤外線画像の傾向  
(路面の加熱過程)

## 2. 2 調査研究の方法

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熱計測調査を実施できる。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態を把握した。走行計測で得られるアスファルト舗装の熱分布画像から、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。

計測時期：12月1日

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、融雪期に発生したポットホール箇所を確認する目視調査を3月中旬に行い、融雪期にポットホールが発生した箇所の赤外線画像データを整理した。



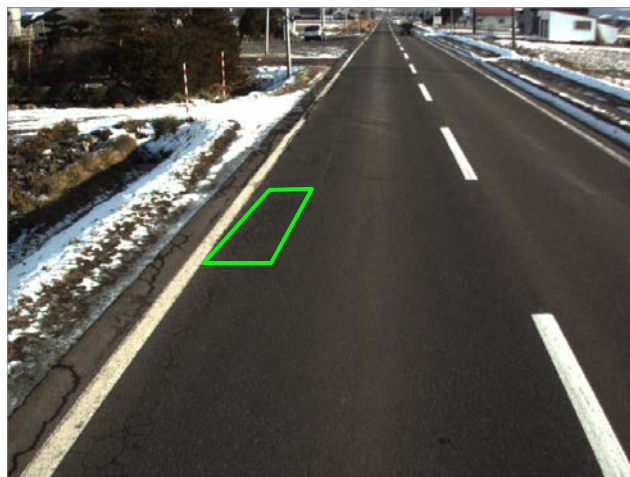
写真-1 赤外線カメラを搭載した調査車両

### 2. 3 調査研究の結果

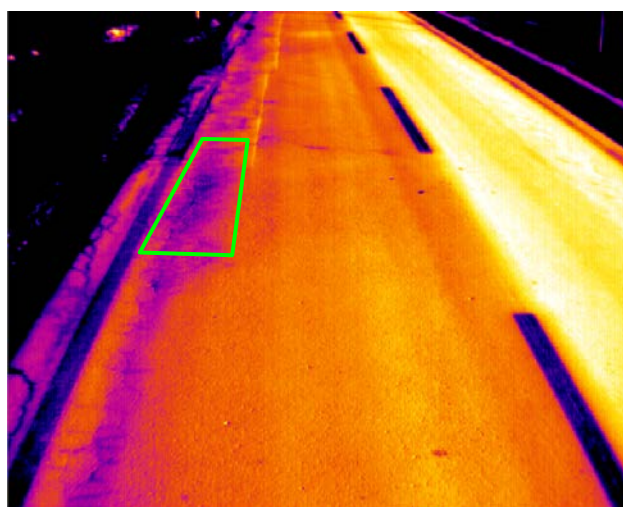
赤外線計測時の舗装表面はほぼ乾燥状態であったが、前日までの雨や早朝までの降雪に伴う水分の影響で、多くの箇所含水や滞水を示す温度の低下部分を確認された。特にひび割れなどの損傷が発生している周辺は、周囲と比較して温度が低い部分が多く見られ、ひび割れの周辺は含水している状態であると推測された。一例として、ある測定箇所の可視画像と赤外線画像を写真-2に示す。可視画像では水分の存在は見られず、ひび割れが見られる以外は特段の変状は気にならないが、赤外線画像では外側タイヤ走行位置に発生したひび割れの周辺の温度が面的に低くなっていることが確認できた。これはひび割れ周辺のアスファルト混合物が含水や滞水によって温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-3に示すが、ポットホールが発生していた。写真-2、写真-3において緑色で示した枠はほぼ同じ部位を囲ってあるが、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。

赤外線計測を行った5km区間のうち、水の影響を受けたとおもわれる温度変状が見られた部分を整理した結果を図-2に示す。図-2には、100m区間内の10m毎の写真のうち、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、青色を濃く示してあり、車線部は横断方向に3分割して表示した。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。これらの部分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箇所であることが確認できる。しかし別の見方をすれば、秋の段階で温度変状が見られた箇所のうちでポットホールの発生に至らなかった箇所も多く存在していることも指摘できる。



(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-2 同一箇所の路面調査時画像



写真-3 写真-2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)

表-1には、融雪期にポットホールが発生していた部位について、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。このことから、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。

今年度の赤外線カメラ計測による基礎的な調査によって、融雪期に発生するポットホール部位では、秋の段階で水分の滞留に伴う温度低下が見られることが確認されたが、秋の段階で温度変状が確認されていてもポットホールの発生に至っていない部位も多く存在する。また、ポットホールの発生は、ひび割れ部や欠陥部が水の影響を受けること以外にも、融雪期に実際に融雪水にどの程度晒されるかや凍結融解の回数や車両などの影響も受けるため、赤外線カメラのみでポットホールの発生を検知することには一定の限界があることも感じられる。そのため、ポットホール発生危険部位をあらかじめ検知するためにはまだ今後も計測診断を繰り返し行い、技術の開発を進める必要があると考えられる。

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

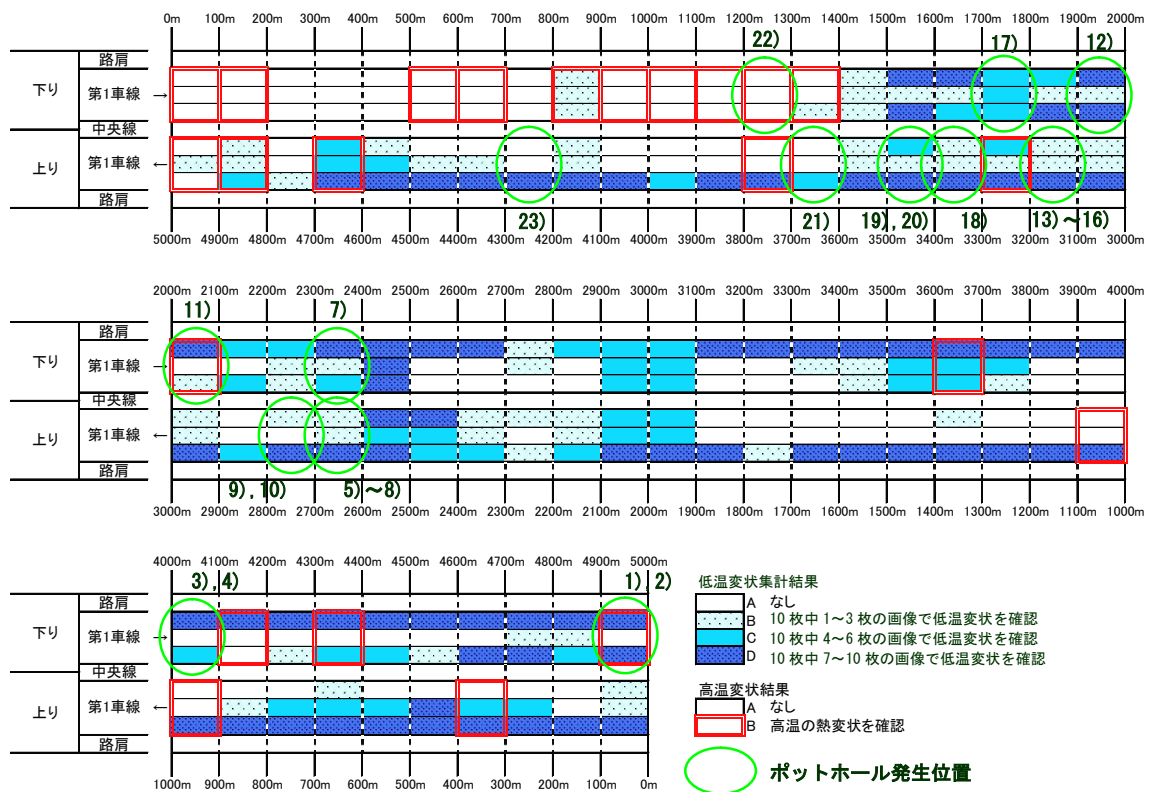


図-2 赤外線調査区間の温度変状箇所整理結果

### 3. 舗装の予防保全手法の検討

舗装の予防保全手法の一つとして位置づけられる、ひび割れ抑制シート工法による補修効果の検証を行った。

#### 3. 1 調査研究の方法

ひび割れ抑制シートの疲労ひび割れ補修効果を検証する目的で、平成19年度に北海道の国道において試験施工を行っており<sup>3)</sup>、本研究では当該箇所において追跡調査を実施した。当該箇所は国道36号苫小牧市美々、交通量区分はN7 (3,000台以上、旧D交通)の路線箇所である。ここに、平成2年に交通量区分N5 (250以上1000台未満、旧B交通) 対応の開発局舗装標準断面(表層4cm、基層5cm、上層路盤6cm)を試験的に延長60m設けていたが、平成13年3月に疲労ひび割れの発生が観測され、その後平成14年3月に切削4cm+オーバーレイ4cmが施工された。さらにその後、平成19年度の時点で亀甲状の疲労ひび割れが全区間に亘って発生し、ひび割れ率が26%、わだち掘れ量が16.5mmと補修が必要な状況となったことから、補修に際して前述した目的の試験施工を行ったものである。補修工事は平成19年10月末に実施され、補修後に一般交通に供用されて約5年5ヶ月経過(平成25年3月末現在)している。

補修方法の概要を図-3に示すが、既設舗装の表層を4cm切削後、ガラス繊維シートを基材に用いたひび割れ抑制シートを既設舗装の基層表面タイヤ通過位置に1m幅で縦断方向に連続して流し貼りし、表層に細密粒度ギャップアスコン13F55 (改質II型)を4cm舗設している。したがって、疲労ひび割れが発生した既設舗装は、部分的にシートの下にそのまま残存した状態である。ひび割れ抑制シート貼り付け後の状況を写真-4に示す。追跡調査項目は表-2に示すとおりであるが、試験目的がひび割れ抑制シートの疲労ひび割れ補修効果を検証することであるから、特にひび割れの再発状況の観察に重点を置いて調査している。

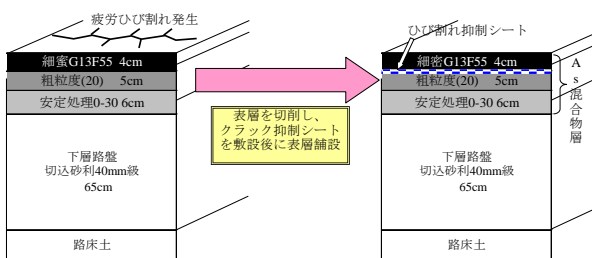


図-3 疲労ひび割れ補修方法概要図



写真-4 ひび割れ抑制シート貼り付け後の状況

表-2 追跡調査項目

わだち掘れ量
平坦性
ひび割れ率
交通量及び輪荷重
FWDによるたわみ量

#### 3. 2 調査結果

供用後約5年間のわだち掘れ量、平坦性、ひび割れ率などの路面性状追跡調査結果を表-3に示す。特にひび割れ率に着目すると、約5年経過時点でひび割れ率は3%程度であり、ひび割れの再発はほとんど見られていない。わだち掘れ量や平坦性の値も問題のない範囲となっており経過は良好である。

表-4には、平成14年3月に施工した切削オーバーレイ後のひび割れ率追跡調査結果と、平成19年にひび割れ抑制シートを施工した後のひび割れ率追跡調査結果を対比して示した。切削オーバーレイ施工後約2年でひび割れの再発が目立つようになり、約6年後には30%近くにまで進展したのに比べて、ひび割れ抑制シートはひび割れの再発を抑制していることが確認できる。

次に、交通量および車両重量調査結果を表-5に示す。日当りの大型車交通量は約1,700台/車線である。また、輪荷重の49kN換算輪数は日当たりで約1,300輪であり、補修工実施後、約5年5ヶ月経過までの間の累計49kN換算輪数は310万輪(平成25年3月現在値)に達している。舗装断面自体は交通量区分N5 (250以上1,000台未満、旧B交通)に対応したものであり、その大型車交通量の上限1,000台/日に比べて、本試験箇所は約1.7倍の交通量であることがわかる。つまり、設計の想定より多くの交通量が通過する箇所での促進載荷試験の意味合いを持っている。また、交

通量区分N5（250以上1,000台未満、旧B交通）の疲労破壊輪数は100万回/10年であるので<sup>3)</sup>、約5年5ヶ月経過までの間に既に疲労破壊輪数を大幅に上回る49kN換算輪数が通過していることになる。

以上を整理すると、1,700台/日の大型車交通量に対して少なくとも約5年の間ほびひび割れの再発が無いことから、交通量区分N5（250以上1,000台未満、旧B交通）の大型車交通量上限1,000台/日の場合には単純計算で $5 \times 1.7 = 8.5$ 年までのひび割れ抑制効果が確認できたことになる。交通量区分N5(旧B交通区分)の疲労破壊輪数を超える累積49kN換算輪数が作用してもひび割れの再発がほぼ無いことから、ガラス繊維シート基材のひび割れ抑制シートによってひび割れの発生が抑制されているものと評価できる。

FWD調査結果を図-4に示す。シートの敷設によって補修前後でたわみ量は改善傾向を示すと予想していたが、シートを敷設したIWP部(Inner Wheel Path、内側タイヤ通過位置)のたわみ量は、補修の前後で若干改善したように見えるが、その後徐々にたわみ量が増加し、供用後2年程度で補修前と同じ程度まで戻っており明確な改善傾向は見られないようである。ちなみに、シートを貼っていないBWP部(Between Wheel Path、非わだち部)のたわみ量にも改善の傾向は見られない。以上のことから、ガラス繊維シートを基材としたひび割れ抑制シートを敷設しても、疲労破壊した舗装のたわみ量を改善する効果は期待できないようである。舗装体自体は疲労ひび割れによって健全とはいえない状態にあるものの、ひび割れ部のせん断変形などをシートが抑制することによって、表層混合物にひび割れが発生することを抑えていると推測される。

表-3 路面性状追跡調査結果

測定年月	H19.11	H20.10	H21.10	H22.10	H23.10	H24.10
測定項目						
わだち掘れ量(mm)	0.8	2.9	3.7	4.5	5.3	6.2
平坦性(mm)	1.13	1.05	1.21	1.3	1.26	1.34
ひび割れ率(%)	0	0	1.36	1.36	1.36	2.71

表-4 ひび割れ率追跡調査結果

補修後経過年数(年) (B交通上限年数相当)	1 (1.7)	2 (3.4)	3 (5.1)	4 (6.8)	5 (8.5)	6 (10.2)
切削オーバーレイ工法 ひび割れ率(%)	0	5.4	6.5	欠測	13.1	26.2
シート工法 ひび割れ率(%)	0	1.4	1.4	2.1	2.7	未(H25)

表-5 交通量および車両重量調査結果

測定年	交通量調査結果(台/日)		輪荷重測定結果(輪/日)
	全交通量	大型車	日49kN換算輪数
2007年(H19)	5,678	1,652	1,480
2008年(H20)	5,635	1,634	1,518
2009年(H21)	5,788	1,507	1,126
2010年(H22)	5,722	2,167	1,245
平均	5,706	1,740	1,342

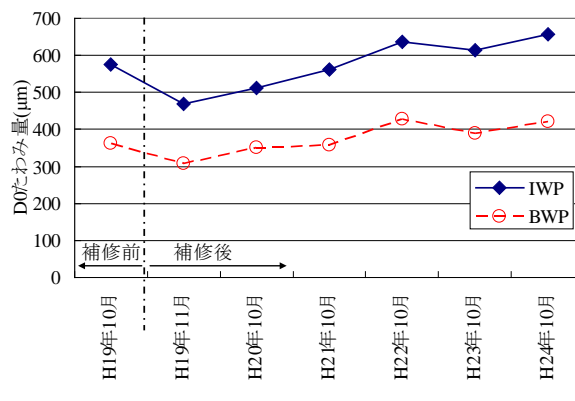


図-4 補修前後のFWDたわみ量の推移

#### 4. まとめ

##### 4. 1 舗装の予防保全のための診断手法の検討

予防保全のための診断手法として、赤外線カメラによる損傷検知技術について基礎的な調査を行った。その結果、舗装に生じたひび割れの周辺部の水分の存在や空隙によって温度変状が発生しており、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箇所として記録されていることが分かった。一方で、秋の段階で温度変状が確認されてい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から、今後、計測時期や計測時間を変えて継続的に赤外線熱計測データを蓄積するなどして、潜在的なポットホール危険箇所を事前に把握できるような技術開発を進めていく必要がある。

##### 4. 2 舗装の予防保全手法の検討

疲労ひび割れ補修箇所における追跡調査結果から、ひび割れ抑制シートによって疲労ひび割れ部のリフレクションクラックの発生を抑制する効果が確認された。

疲労ひび割れが発生している状態は、舗装体が疲労破壊しており所定の支持力を有していない状態と判断されるため、理想的には破損部分を撤去し打替

工法を採用するのが基本である。しかし、舗装維持修繕費が限られる中で現在ある舗装資産の延命化を図り有効に活用するという観点では、ひび割れ抑制シートの活用が有効な対策となりうることが示されたと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 塚本成昭・山上哲示・内間満明・黒須秀明・前田近邦・閑上直浩：赤外線による舗装の点検手法、舗装 vol. 46-7、2011. 7
- 2) 宇野津哲哉・山上哲示・塚本成昭・内間満明・黒須秀明・前田近邦：赤外線検査法による内部損傷に着目した効率的な舗装管理への取り組み、土木学会第 67 回年次学術講演会、pp. 645-646、2012. 9
- 3) 日本道路協会：舗装設計便覧、平成 18 年 2 月

## A STUDY ON PREVENTIVE MAINTENANCE OF PAVEMENTS IN COLD, SNOWY REGIONS

**Budgeted** : Grants for operating expenses general account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Road Maintenance Research Team

**Author** : KUMAGAI Masayuki

MARUYAMA Kimio

YOSHIKAWA Toshiyuki

ISODA Takuya

ITANI Masashi

**Abstract** : This study was conducted to establish a road diagnosis method for early prediction of damage and deterioration of roads in cold, snowy regions and a precautionary method for prolonging the service life of the pavement on such roads.

First, a road diagnosis method for early prediction of damage and deterioration of roads using infrared camera was examined. The results confirmed that infrared camera has a possibility to detect cold portion of pavement which was caused by water infiltrated into the pavement through cracks, and potholes were occurred at this portion. Next, a follow-up survey of pavement overlay fabric applications which have been conducted as a means of preventive maintenance was conducted, confirming that the life prolongation effect of several years can be achieved.

**Key words** : Preventive maintenance, road diagnosis method, precautionary method, infrared camera, pavement fabric