

14.5 融雪水が道路構造に与える影響及び対策に関する研究

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：寒地保全技術グループ（寒地道路保全）

研究担当者：木村孝司、丸山記美雄、安倍隆二

【要旨】

積雪寒冷地においては、融雪期の融雪水や凍結融解作用が道路舗装の損傷に大きな影響を与えることが経験的に知られている。これに加えて将来的には気候変動が激しくなるとの指摘もあり、舗装の老朽化もあいまって従来よりも融雪期の舗装の損傷が顕著になることが予想される。そこで、本研究では、融雪水や凍結融解作用が舗装体に及ぼす影響を検証し、融雪水などによる舗装の破損リスクが高い箇所を把握し、融雪水に対して耐久性の高い補修材料や工法を開発することや、融雪水の影響を考慮した舗装構造を提案することを目的とした調査検討を行った。

その結果、融雪水の浸入や凍結融解に伴い、路盤材料や路床材料の支持力が低下し、舗装体に損傷が発生することを明らかにし、融解期に舗装の損傷が発生するメカニズムを整理した。そして、ポットホールに代表される融解期の損傷発生リスクが高い条件として、融雪水の存在、凍結融解の作用、ひび割れ等の存在などの条件を示した。その上で、補修に常温混合物を用いる場合は全天候型を使用することが望ましく、融雪期でも加熱混合物の入手・施工が可能な場合には使用が勧められることを提示した。さらに、道路舗装の耐久性向上を図るため、道路管理者と共同で「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術ハンドブック」を作成し、ジオシンセティックスを活用した遮水構造などの提案も行った。ひび割れ率と融雪期のポットホール発生量の推移に関して中長期予測を行い、対策方針も提示した。

キーワード：融雪水、凍結融解、ポットホール、常温混合物

1. はじめに

積雪寒冷地においては、低温や融雪期の融雪水および凍結融解作用などによって道路舗装が影響を受けるため、積雪寒冷地の舗装を構築するに際しては、積雪寒冷地特有の過酷な条件に耐えるような対策が取られている^{1), 2), 3), 4)}。しかし、北海道内の舗装道路の多くが1960～1970年代の高度経済成長期に構築され（道路統計年報⁵⁾等より集計）、その後約30～40年近くの時間が経過する中で、多くの舗装にダメージが蓄積され老朽化が進んでいると考えられ、今後は損傷が顕在化することが懸念される。また、IPCC第4次報告書⁶⁾など最近の気象データによれば、多くの地域で気温が上昇傾向にあり、気温、降雨量などの変動幅も拡大する傾向が指摘されている。こうした気象条件の変化により、積雪寒冷地では冬期間の気温が上昇し、厳冬期における凍結融解回数の増加、厳冬期の降雨の増加、路面上の雪氷の融雪水滞留時間の増加などの現象が起こっている。これまで、路盤や路床部に凍結融解作用が働き支持力が低下する現象が発生するのは春先の短い期間に限られていたが、厳冬期にも凍結融

解作用が働き、さらに厳冬期の降雨や路面上の雪氷融水によって水分が路面や舗装体内に多く供給されることから、道路の構造的損傷と、ひび割れやポットホール等の路面損傷が増加する可能性は排除できない。英国、米国ほか諸外国でも融雪水の増加が道路に与える影響とその適応策についての研究が進められている。

実際に、近年では融雪期のポットホール損傷に関する道路利用者の通報や要望が増加している実態にある。道路機能を維持し、現在の道路資産を安全かつ安定的に守っていくために、環境条件の変化による融雪水の増加とそれによって発生する機能低下を検証し、融雪水による舗装の損傷への対処技術や、耐久性を向上するための技術開発が必要である。また、融雪水の速やかな排水技術や流末の確保が今後は重要になると予想される。

そこで、本研究では、融雪水や凍結融解作用が舗装体に及ぼす影響を検証し、融雪水などによる舗装の破損リスクが高い箇所を把握し、補修対策や予防対策を検討する目的で研究を行っている。本研究で検討を行った内容および得られた成果を以下に詳述する。

2. 融雪水が舗装体に及ぼす影響の検証

2.1 調査方法

融雪水が舗装体に及ぼす影響を把握するために、以下の項目について調査を行った。

- 1) 気象状況の把握
- 2) 融解期における路盤材料および路床材料の水分変動の把握
- 3) 融解期における路盤材料および路床材料の支持力低下の検証
- 4) ひび割れ部からの水の浸入に関する検証
- 5) 凍結融解作用による混合物の強度低下の検証
- 6) 融雪期の舗装体への影響要因の整理および損傷メカニズム検討

2.2 気象状況の把握

過去 30 年間のアメダスデータを用い、北海道内の主要都市における凍結指数を算出した。図-2.1 に全道各地の凍結指数を示す。1980 年～1987 年までの凍結指数は比較的高いが、1988 年以降は 2000 年を除き、凍結指数は低下し暖冬の傾向が見られる。

図-2.2～2.5 に道央、道東、道南、道北の事例として札幌市、帯広市、室蘭市、旭川市の厳冬期におけるゼロクロッシング回数を示す。なお、ゼロクロッシングとは、1 日の間に気温がプラスからマイナスもしくは、マイナスからプラスに変化した、このような気温の変化を「ゼロクロッシング」とよぶ。1～2 月の厳冬期の降雨回数については、アメダスの天気概況を用い、昼 (6:00～18:00) および夜 (18:00～翌日 6:00) の内、その時間帯に降雨があったものを降水有りと各々カウントした。1～2 月の厳冬期におけるゼロクロッシング回数は、札幌、帯広市、室蘭市では 1988 年以降増加している。一方、旭川市については、増加の傾向はあまり見受けられない。

厳冬期の降雨回数については、凍結指数が低下した 1998 年以降増加し、調査年度により大きな変動が見受けられる。また、厳冬期の降雨回数は地域の気象条件により、異なる結果となった。

写真-2.1 に厳冬期における札幌市内の路面状況の一例を示す。近年、厳冬期においても融雪水が路面に滞水している状況が多く見受けられる。

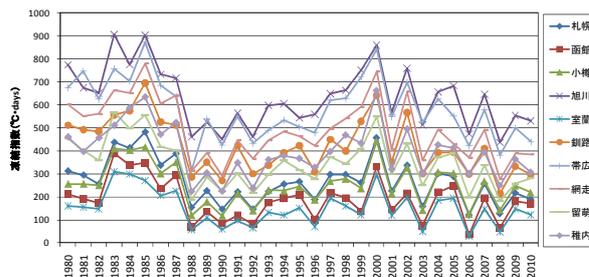


図-2.1 全道各地の凍結指数

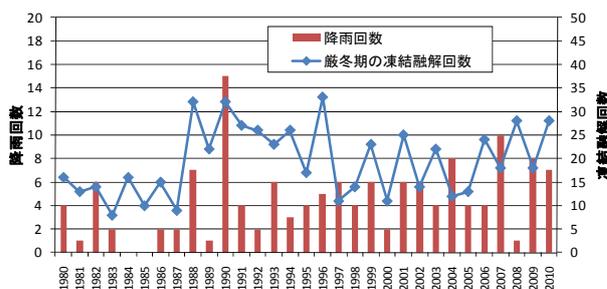


図-2.2 厳冬期における凍結融解回数と降雨回数 (札幌)

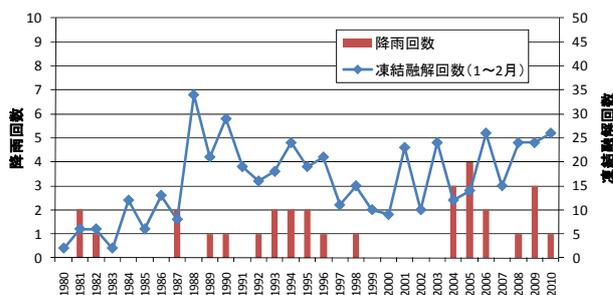


図-2.3 厳冬期における凍結融解回数と降雨回数 (帯広)

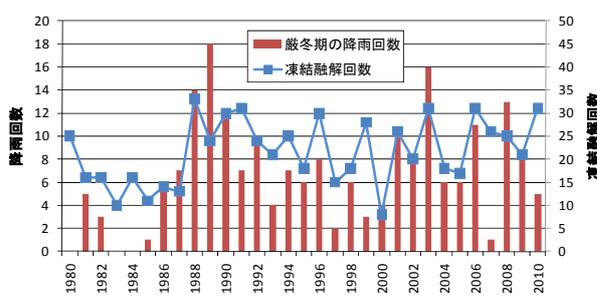


図-2.4 厳冬期における凍結融解回数と降雨回数 (室蘭)



図-2.5 厳冬期における凍結融解回数と降雨回数 (旭川)



写真-2.1 厳冬期における路面状況（一般国道 230 号札幌市）

2.3 融解期における路盤材料および路床材料の水分変動の把握

融雪水が路盤材料および路床材料に与える影響を把握するため、室内試験や現地調査を行い、路盤材料（切込砕石 40mm 級）および路床材料（レキ質土）の含水比の変動を調査した。

写真-2.2 に示す凍結融解試験機を用い室内試験を実施した。凍結融解サイクルは+4.5°Cで 2 時間保持し、-18.0°Cで 2 時間保持する温度設定とした。水分計は供試体の上面部、中間部、下面部に設置し水分の変動を調査した（写真-2.3）。

路盤材料の試験結果を図-2.6 に示す。路盤材の試料は最適含水比付近に調整した材料を用いた。路盤上面および中間部において、路盤材料の融解に伴い含水比が一時的に増加していることが確認できた。

図-2.7 に路床材料を用いた室内試験結果を示す。試料は最適含水比付近に調整したものを使用した。凍結融解作用を受けることにより、上面部の路床土は下面から水分を吸い上げ、一時的に融解時の含水比が上昇していることが確認できた。

図-2.8 に苫小牧試験舗装の下層路盤の上面部に埋設した水分計の経時変化を示す（調査期間 2008.10～2013.4）。融解時に含水比が上昇する傾向が見られ、室内試験と現地調査では同じ傾向が確認できた。

図-2.9 に稚内試験舗装の路床の上面部に埋設した水分計の経時変化を示す（調査期間 2006.11～2012.12）。融解時に含水比が上昇する傾向が見られ、下層路盤と同様に室内試験と現地調査では同じ傾向が確認できた。

図-2.10 に下層路盤の上面部に埋設した水分計の経時変化を示す。現地の水分計による含水比は、融解時に上昇する傾向が見られ、室内試験と現地調査では同じ傾向が確認できた。



写真-2.2 路盤材料の凍結融解試験



写真-2.3 水分計の設置位置

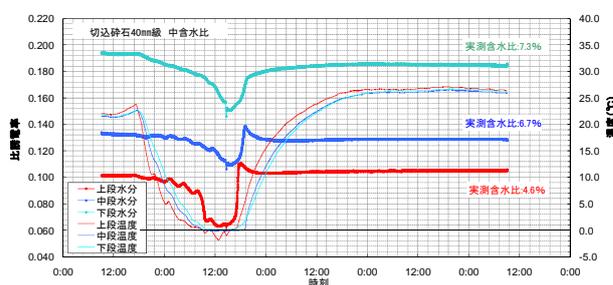


図-2.6 路盤材料の凍結融解試験結果

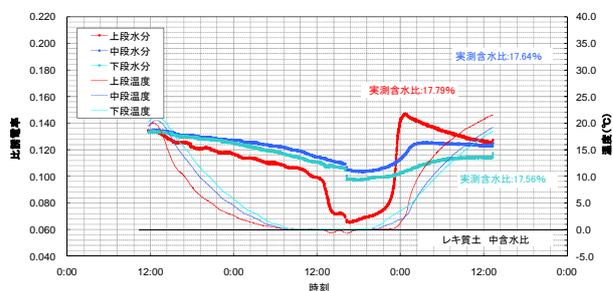


図-2.7 路床材料の凍結融解試験結果

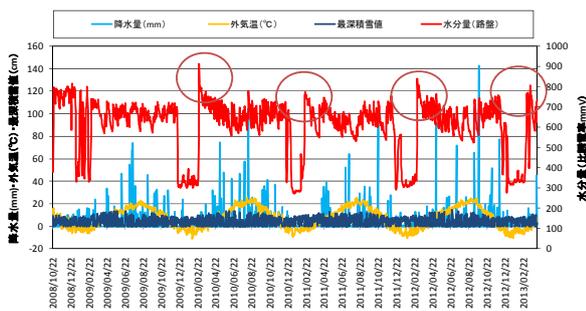


図-2.8 路盤上面の含水比の経時変化（苫小牧試験舗装）

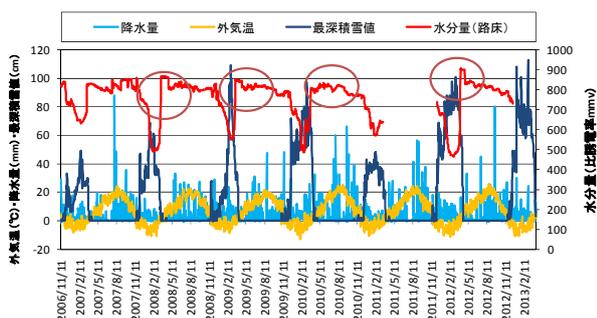


図-2.9 路床上面の含水比の経時変化（稚内試験舗装）

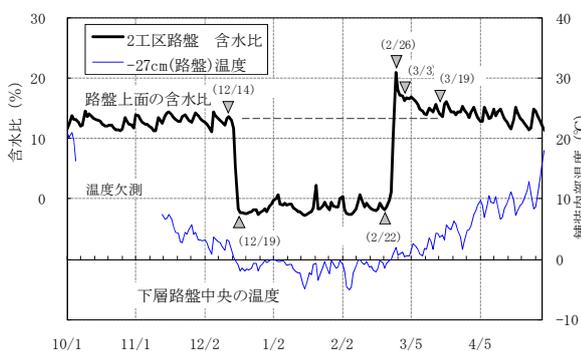


図-2.10 路盤上面の含水比の経時変化（苫小牧試験舗装）

2.4 融解期における路盤材料の支持力低下の検証

既往の調査によって得られている、路盤材料の凍結融解後の修正 CBR 試験の結果⁴⁾を図-2.11に示す。凍結融解前の修正 CBR 値と凍結融解後の修正 CBR 値の比（CBR 保存率）は複数の路盤材料でいずれも 70%程度であり、路盤材料は凍結融解を受けると支持力が低下することが確認できる。このような凍結融解作用に伴う支持力低下に加えて、ひび割れ等から融雪水が路盤や路床に浸入すると、路盤材や路床材の含水比を高めることになるため、更に支持力は低下すると考えられる。

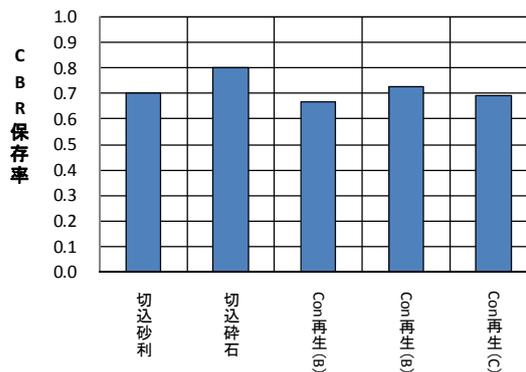


図-2.11 路盤材料の凍結融解後のCBR保存率

2.5 ひび割れ部からの水の浸入に関する検証

ひび割れ部からどの程度の量の路面の融雪水が浸入するのかを把握するため、幅の異なるひび割れを室内で曲げ破断によって作成し、ひび割れ部を跨いで現場透水量試験機を設置して、透水量を測定した。試験を行ったひび割れは、曲げ破断させたひび割れ面を向かい合わせて万力で締め付けて 0.5~1mm、3mm 程度、5mm 程度の幅のひび割れとした。曲げ破断によるひび割れの作成状況を写真-2.4に、現場透水量試験の状況を写真-2.5に示す。

曲げ破断により発生させたひび割れに対する透水量試験結果を図-2.12に示す。ひび割れ幅が 3mm 以上の場合、測定の上限である 1400 ml/15 秒以上の透水性を示し、ほとんど抵抗なく水が浸透していく状態となっている。ひび割れ幅が 0.5~1mm 程度の時には、透水量は約 600 ml/15 秒となり、ひび割れ幅が 3mm 以上の場合に比べると若干浸透しにくくなる。しかし、いずれのひび割れ幅においても、単位時間当たりの透水量に程度の差はあるものの、供給された水は速やかに浸透していくレベルと評価できる。

融雪期には、路肩部等に堆積された雪が解け、その融雪水が路面から流入し、さらにひび割れや打ち継ぎ目部分から容易に浸入している状況にあると推察される。

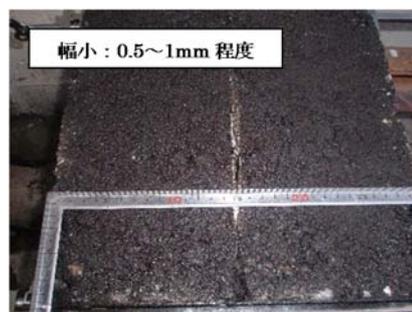


写真-2.4 曲げ破断によるひび割れの作製状況



写真-2.5 カッターひび割れに対する現場透水量試験結果

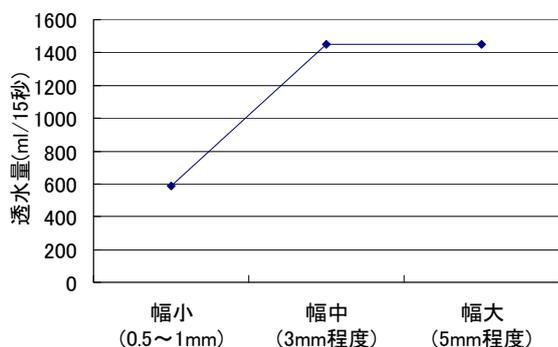


図-2.12 曲げ破断ひび割れに対する透水量試験結果

2.6 凍結融解作用による混合物の強度低下の検証

凍結融解による混合物の強度低下に関しては、これまでも実験を行っており^{7,8)}、その概要を以下に示す。

同じ材料（ストアス 80-100、骨材、フィラー）を使用し、配合比率を変化させた細粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(SG13F)2 種、密粒度アスファルト混合物 F 付き系(M13F)2 種、密粒度アスファルト混合物 F なし系(M13)2 種、密粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(MG13F)1 種の計 7 種類の混合物を対象として、凍結行程が+4.5℃→-18℃で 2 時間、融解行程が-18℃→+4.5℃で 1 時間の計 3 時間を 1 サイクルとして凍結融解を所定の回数繰り返し、その後に空隙率の測定を行った。

凍結融解作用に伴う空隙率の変化を図-2.13 に示す。細粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(SG13F)2 種と密粒度アスファルト混合物 F 付き系(M13F)2 種は空隙率 3%~4%の範囲内で推移しており、凍結融解作用による影響をあまり受けていない。一方、密粒度アスファルト混合物 F なし系(M13)2 種と密粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(MG13F)は 4%以下空隙率が 5%以上程度に増加しており、凍結融解作用の影響を受けていることがわかる。

この試験において、凍結融解作用によって混合物内部に発生した変化を模式図で表現したものを図-2.14 に示す。水分が存在する条件下でアスファルト混合物が凍結融解を受けると、空隙に浸入した水が凍る際に体積膨張すると考えられ、凍結と融解を繰り返すうちに空隙が拡大し、それに伴って安定度や摩耗抵抗性や骨材飛散抵抗性などが低下するものと推測される。

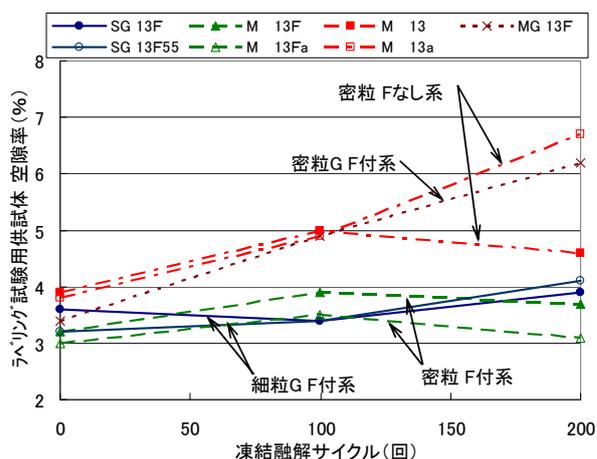


図-2.13 凍結融解試験後の空隙率の変化

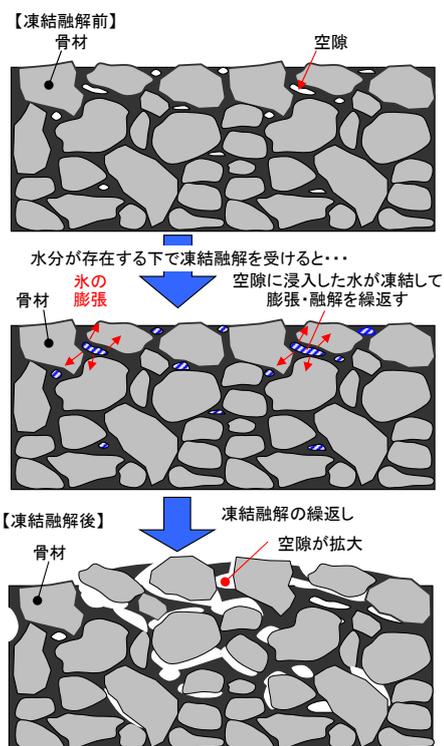


図-2.14 凍結融解を受けた混合物の変化模式図

2.7 融雪期の舗装体への影響要因の整理および損傷メカニズム検討

融雪水が舗装体に与える影響要因の整理および、融雪期に発生する損傷の発生メカニズムを検討した。

これまでに実施した調査結果を基に、融雪期における舗装体への影響要因を図解したものを図-2.15 に示す。融雪期には、雪が融けた水が、ひび割れや舗装構造の一部から浸入もしくは浸透し、それが気温の変動や日射に伴い凍結や融解を繰り返すことで様々な形で舗装体に影響を及ぼすものと整理できる。ここで、融雪水とは狭義でいえば、文字通り雪が解けた水だけを意味するが、本研究が対象とする融雪水は、融雪期に舗装体に悪影響を及ぼす供給源全てを総称したものと位置づけており、図-2.16 に示すように、路面への降雪が融けた水、道路脇に堆積してある雪が融けた水、道路の周辺の雪が融けて道路へ路面や地下から流入した水、季節はずれの降雨などを含んだものである。

次に、融雪水の浸入および浸入した水の凍結融解が、舗装体に及ぼす具体的な変化について要約すると以下の項目のとおりとなる。

- 1) 混合物層を脆弱化させる（ひび割れの進展、ひび割

れ周辺の混合物の脆弱化、空隙(すきま)の増加、アスファルトと骨材の付着の悪化)

- 2) 表層と基層の間など、混合物層の間の接着力を弱め、層間ではがれやすくする。
- 3) 路盤や路床を高含水比の状態にし、路盤材や路床材が部分的に泥濁化するなどして、支持力が低下する。
- 4) 浸入した水が凍結する際に、体積が増加して舗装体内部や層間に隙間が生じ、ひび割れ等が発生しやすくなる。
- 5) 路床に氷晶を生じ、凍上や不等沈下を生じさせる。



写真-2.6 路肩の堆雪からの融雪水が影響したポットホール

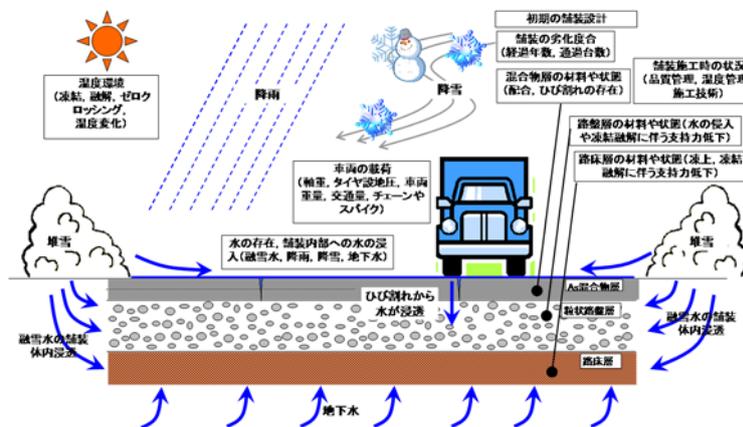


図-2.15 融雪期における舗装体への影響要因

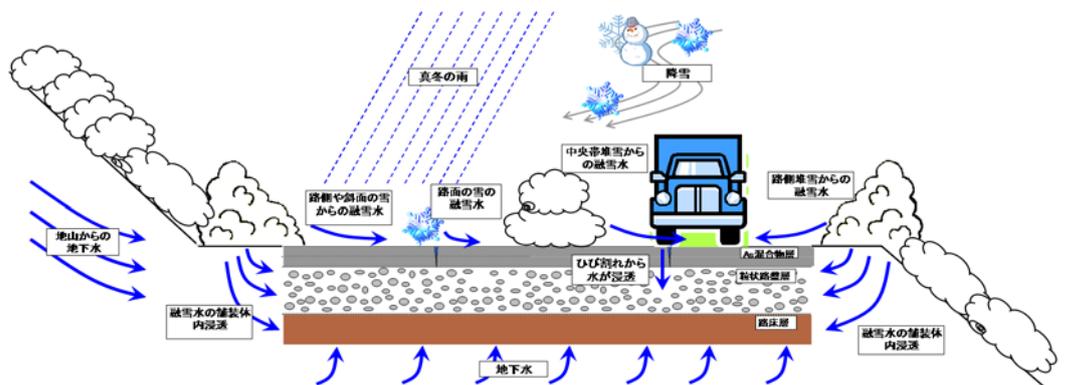


図-2.16 本研究が対象とする融雪水の供給源

舗装体に上述したような変化が進行したところに、車両の走行荷重や衝撃荷重が加わることで、様々な損傷が発生・進展することとなる。損傷形態のうちで、道路利用者にとって最も視認しやすく走行性等に直接影響する損傷形態が写真-2.6 に示すようなポットホールである。ここで、一口に融雪期に発生するポットホールといっても、発生位置や発生原因などは様々なものがある。様々

なポットホールの発生メカニズムを整理し、認識することが、予防対策や補修方法を考える上で重要であるため、融雪期に発生する代表的なポットホールの発生タイプを表層混合物層中心のもの、混合物層全層のもの、低温ひび割れや凍上ひび割れ部のもの、の3タイプに大別し、各々の発生メカニズムを図-2.17、図-2.18、図-2.19 のとおり整理した。

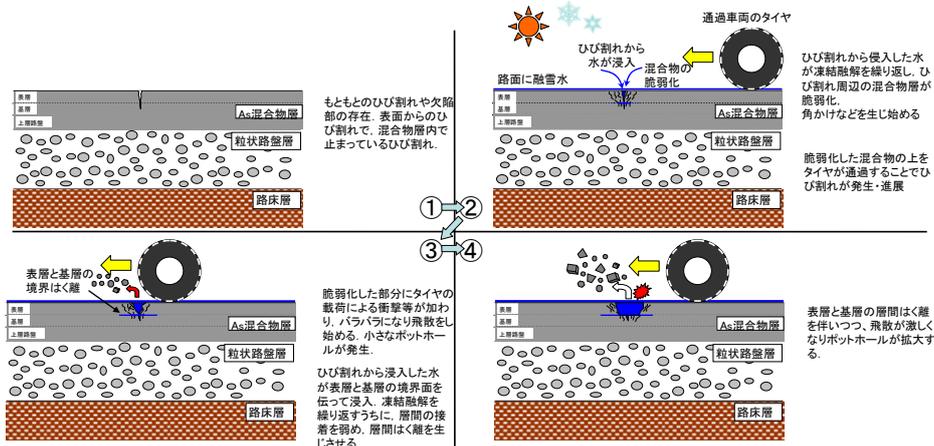


図-2.17 ポットホールの発生メカニズム事例：表層中心のポットホールの場合(打継目や表面のひび割れ部)

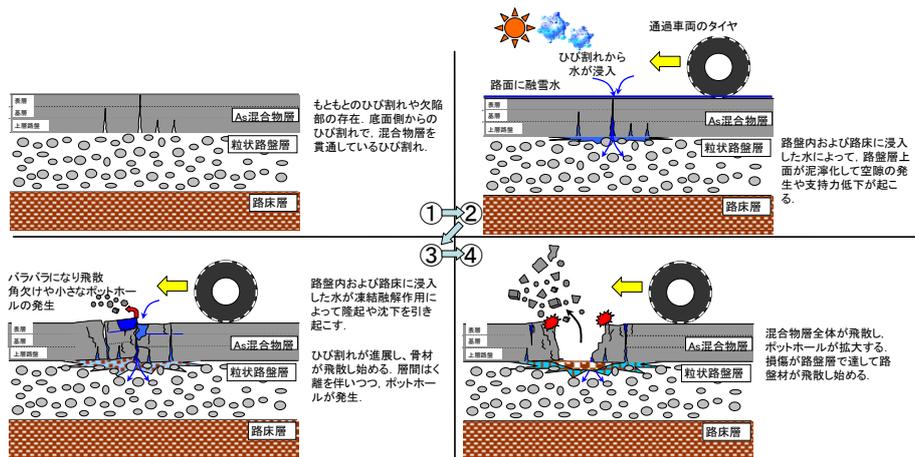


図-2.18 ポットホールの発生メカニズム事例：混合物層全層のポットホールの場合(混合物全層のひび割れ部)

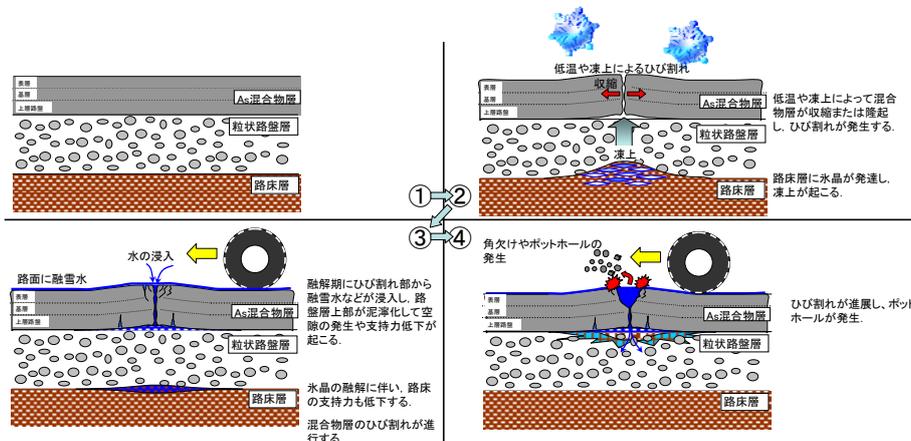


図-2.19 ポットホールの発生メカニズム事例：低温ひび割れや凍上ひび割れ部のポットホール

3. 融雪水による舗装破損高リスク箇所の推定手法の開発

融雪水による舗装破損の高リスク箇所の実態を把握するため、国道におけるポットホール発生状況を調査した。特に、融雪期のポットホールの発生状況に着目して調査を行った。さらに、ポットホールの発生実態を分析することで、舗装破損高リスク箇所の推定手法に関して検討を行った。

3.1 融雪水による舗装破損高リスク箇所の実態調査 (ポットホール発生実態調査)方法

調査は、遠軽地域と札幌地域の国道で実施した。

遠軽地域においては、国道238号、242号、333号の合計約160km区間における一年間のポットホール発生状況を調査した。調査は基本的に1日おきにいずれかの路線で実施しており、ポットホールの発生が確認された月日と個数を記録し、集計整理した。ポットホールが発生した部位や発生状況、ポットホールの発生が確認された日とアメダスデータ等の気象条件の関係の調査も併せて行った。さらに、ポットホールの発生実態や対処方法に関して道路管理者および道路維持工事受注者にヒアリング調査を行った。

札幌地域においては、国道337号の約25km区間におけるポットホール発生状況等を1月～3月の間、調査した。調査は1日おきにポットホールの発生を確認して発生月日と個数を集計整理するものと、調査対象区間を1月～3月の間に週1～2回、ポットホールの発生部位や発生状況を詳しく目視調査する形で実施した。

これらの調査結果を基に、ポットホールの発生時期、ポットホール発生部位や発生時の気象条件、さらに、秋の時点におけるひび割れ率を実測と予測に基づいて把握し、1月～3月の間のポットホールの発生状況との対応関係などを調べた。

3.2 ポットホール発生実態調査結果

3.2.1 ポットホールの発生時期

遠軽管内におけるポットホールの月別発生件数を図-3.1に示す。ポットホールは2月から徐々に増え始め、遠軽地域の融雪期にあたる3月と4月に発生量が多いことが確認された。また、寒さが厳しい1月に発生していない点も注目される。

札幌地域における調査においても、融雪期の2月初旬ころから3月中旬にかけてポットホールの発生が多いことが確認できた。

積雪寒冷地では、一年の中でも特に融雪時期や春先に舗装の損傷が激しくなることが分かり、他の時期に比べ

て舗装が大きなダメージを受ける時期であることが推察される。参考として、本州など比較的温暖な地域では、ポットホールは6月の梅雨時期や9月、10月の台風および秋雨の時期など、雨の多い時期に多く発生するといわれている。今回の調査においては、それらの時期にはあまりポットホールが発生しておらず、温暖な地域とは発生時期が異なる傾向を示している点が特筆される。

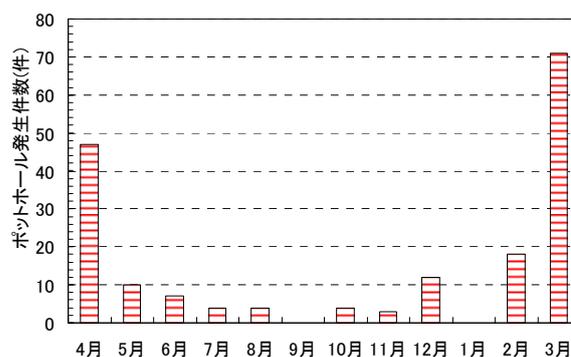


図-3.1 遠軽地域におけるポットホールの月別発生件数

3.2.2 ポットホールの発生部位

遠軽地域と札幌地域での調査において、ポットホールの発生している部位を整理した結果を図-3.2、図-3.3に示す。ポットホールの大半は、元々何らかのひび割れや施工時の継目等が存在した箇所に発生していることが確認できる。遠軽地域では、疲労ひび割れと横断ひび割れ部に発生したポットホールの割合が約8割を占めている。また、札幌地域では疲労ひび割れ部に発生したポットホールの割合が約9割を占めている。打継目などの施工継目部に発生したポットホールは約1～2割であった。疲労ひび割れ部にポットホールの大半が発生している結果となったが、これは調査対象路線区間が疲労ひび割れの発生量が多い路線区間であったためと考えられ、他のひび割れの発生量が多い区間では、そのひび割れに起因するポットホールの発生割合が多くなるものと推測される。図-3.4には、路面のひび割れ率と、ポットホールの発生割合の対応関係を整理した結果を示す。ひび割れ率が高くなるにつれて、ポットホールが発生する割合が高くなるのがわかる。つまり、ひび割れ率が高い区間ほど、ポットホールが発生する確率が高いといえる。

以上のようにポットホールはひび割れ部分をきっかけに発生することが多いことがわかった。

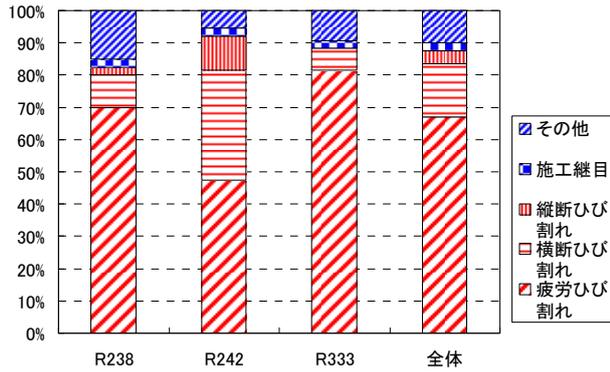


図-3.2 ポットホールの発生箇所別件数 (遠軽地域)

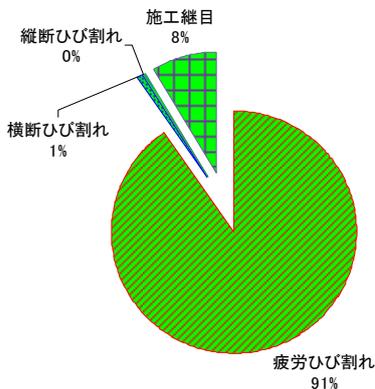


図-3.3 ポットホールの発生部の路面状況 (札幌地域)

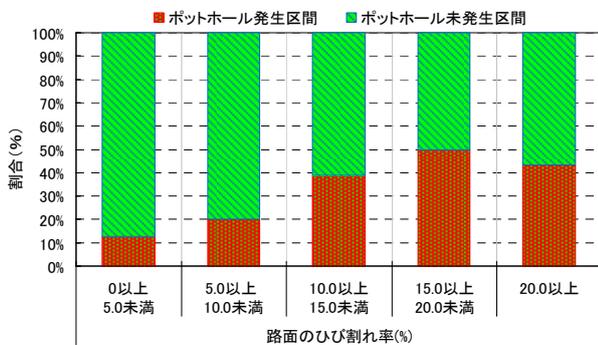


図-3.4 路面のひび割れ率とポットホール発生の対応関係 (札幌地域)

3.2.3 ポットホールの発生時の気象条件

遠軽地域の調査データに対して、ポットホールが発見された日の最高気温と最低気温をプロットした結果を図-3.5に示す。また、札幌地域の調査結果も図-3.6に示す。

図中の赤枠で囲った範囲は、図-3.7に例示したように1日の間に気温がプラスからマイナスもしくは、マイナスからプラスに変化した(以下、このような気温の変化を「ゼロクロッシング」とよぶ)日であることを意味する。

図-3.5、図-3.6において、大半のデータが赤枠で囲った範囲にプロットされていることから、ゼロクロッシングした日に大半のポットホールが発生していることが理解できる。なお、赤枠で囲った範囲にプロットされていないもの(調査当日にゼロクロッシングしていないもの)についても、前日もしくは前々日にゼロクロッシングしていることが確認できた。

次に、ゼロクロッシングの発生有無とポットホールの発見の関係を整理した結果を表-3.1と表-3.2に示す。ゼロクロッシングが発生した日は、5割~6割程度の高い確率でポットホールの発生がみられるのに比べて、ゼロクロッシングが発生していない日は、ポットホールの発見率は約2割となっており、ゼロクロッシングがポットホールの発生に強く影響していることが認められる。気温が0°Cをまたいで変化するような気象条件が、ポットホール発生リスクを高める重要な条件であるといえる。

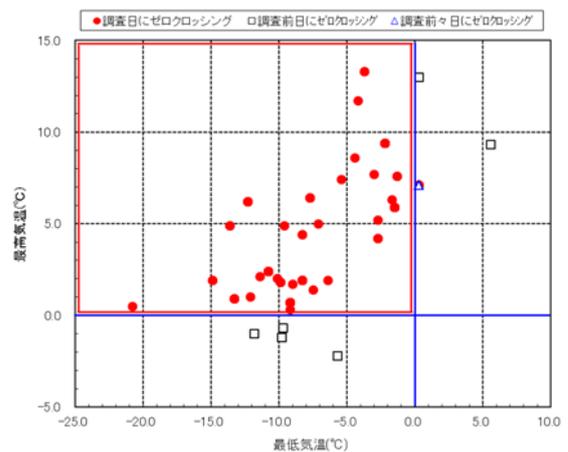


図-3.5 気温とポットホール発生の関係 (遠軽地域)

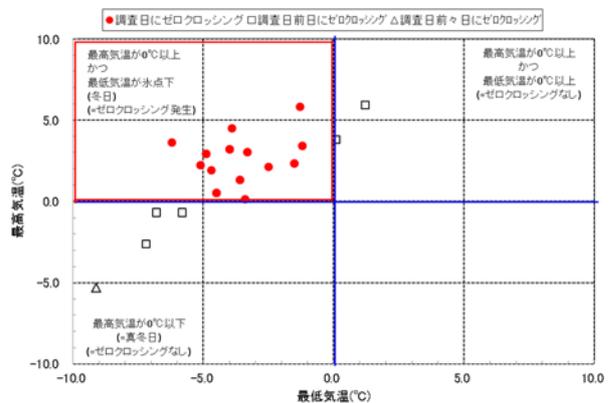


図-3.6 気温とポットホール発生の関係 (札幌地域)

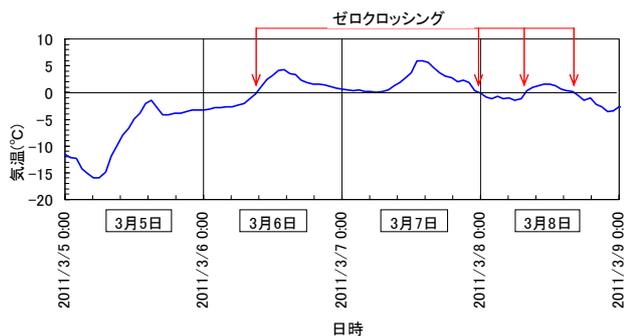


図-3.7 ゼロクロッシングの一例

表-3.1 ゼロクロッシング発生とポットホールの発生の対応関係（札幌地域）

		調査 日数	ポットホール発生日数		ポットホール の発生率(%)
			発生	無	
調査当日	気温のゼロクロッシング発生	29	14	15	48.3
	気温のゼロクロッシングなし	30	8	22	26.7
調査前日	気温のゼロクロッシング発生	27	15	12	55.6
	気温のゼロクロッシングなし	32	7	25	21.9
調査前々日	気温のゼロクロッシング発生	28	13	15	46.4
	気温のゼロクロッシングなし	31	9	22	29.0

表-3.2 ゼロクロッシング発生とポットホールの発生の対応関係（遠軽地域）

		調査 日数	ポットホール発生日数		ポットホール の発生率(%)
			発生	無	
調査当日	気温のゼロクロッシング発生	40	24	16	60.0
	気温のゼロクロッシングなし	38	6	32	15.8
調査前日	気温のゼロクロッシング発生	40	23	17	57.5
	気温のゼロクロッシングなし	38	7	31	18.4
調査前々日	気温のゼロクロッシング発生	39	20	19	51.3
	気温のゼロクロッシングなし	39	10	20	25.6

3.2.4 ポットホールの成長速度

札幌地域における調査において観察された、ポットホールの発生する前後数日間の路面状態の一例を写真-3.1に示す。2月20日に小さな穴が確認された後、約10日後には数10cm径の穴に発達しており、ポットホールが数日のうちに大きく拡大することが確認できた。

3.2.5 ポットホールに関するヒアリング調査結果

道路管理者および道路維持工事受注者に対して、ポットホールの発生状況や発生部位等についてヒアリング調査を行った結果を表-3.3に示す。

融雪期に発生することが多いことや、ひび割れなどの欠損のある部分に発生することが多いことなど、実態調査で得られた結果を裏付ける意見となっている。維持管理の現場で長年の経験により得られた経験知と今回の調査結果が一致していることを意味しており、本調査で得られた結果が、ある程度普遍的なものであることが確認できた。



写真-3.1 ポットホールの成長速度（大きさの時間変化）

表-3.3 ポットホールの発生に関するヒアリング調査結果

(1)ポットホールの発生時期や発生状況	<ul style="list-style-type: none"> 年間を通してみると、春先や融雪期に発生が多い。 寒さが緩み、プラスの気温が現れ出すと多く発生するようになる。 夜間や朝に凍結して、日中は解けてを繰り返すような気象条件の時に発生する傾向を感じる。 冬期間に雨が降ると、その後数日以内に多発することがある。 遠軽地域では3月、4月に多く発生する印象。 札幌圏では2月中旬頃から多く発生する印象。 7、8月など通常の時期は、発生量は多くないが、雨が降った後に時々発生する。 寒さの厳しい1月はあまり発生しない。 ポットホールは最初は小さくても、放置すると拡大していく。 穴埋めをしたポットホールの脇にポットホールが再発する事もある。
(2)ポットホールの発生しやすい箇所	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れや欠損のある部分 亀甲状ひび割れ、横断ひび割れ、打継目周辺部 など 橋梁ジョイント周り わだち掘れができて、路肩付近が沈下しているようなところ。

3.3 ポットホールの発生リスク予測に関する検討

ポットホールの発生には2.7項で述べたように様々な要因が関係していること、道路の地理的条件や気温条件は場所によって千差万別であることから、ポットホールの発生時期や発生位置を全ての路線区間において精度良く正確に予測することは非常に困難であると思われる。しかし、これまでの調査によって、どのような気象条件でポットホールの発生頻度が高くなるのか、どのような部位で発生しやすいのか、大きな傾向を把握することはできたと思われる。ポットホール発生リスクが高い条件を整理すると、図-3.8に示すとおりである。

これらの条件を満たす場所および時期はポットホールの発生リスクが高い。道路管理者に巡回時にこれらの条件を意識してもらい、補修体制の確保などを行うことによって、利用者の走行安全性確保に役立つものと考えている。

- (1) ポットホールが多く発生する時期
→ 融雪期に多い
- (2) ポットホールが発生しやすい部位
→ 元々ひび割れがある部位
→ 融雪水が流入・滞留しやすい部位
→ ひび割れ率が高い区間や路線
- (3) ポットホール発生時の気象条件
→ ゼロクロッシング発生日およびその1～2日後
- (4) ポットホールの成長速度(大きさの時間変化)
→ 数日の間に数10cm径の穴に発達

図-3.8 ポットホール発生リスクが高い条件

次に、今後の長期的な観点でのポットホール発生リスク予測について、検討を行った結果を述べる。図-3.9には、国土交通省北海道開発局（以下、北海道開発局）における路面のひび割れ率の近年の推移を示した。路面のひび割れ率は近年増加の傾向を示している。ひび割れ率とポットホール発生割合には正の相関があることから、

近年、ポットホールが発生している区間が増加している状況にあることが推測される。このようなひび割れ率の増加傾向が今後も続けば、ポットホールの発生量も増加すると考えられる。

図-3.10には北海道の国道における、ひび割れ率が5%以上の区間を緑色で示した。ボトムアップ型の疲労ひび割れのひび割れ率が5%以上の区間は、北海道内全体に広く見られるようになってきている。ボトムアップ型のひび割れは、供用年数の増加に伴って増える傾向を示すので、ボトムアップ型の疲労ひび割れの延長は、道内全域に広がり今後さらに増加する可能性が高い。それに伴い、ポットホールが発生する路線区間の割合も高くなると予測される。

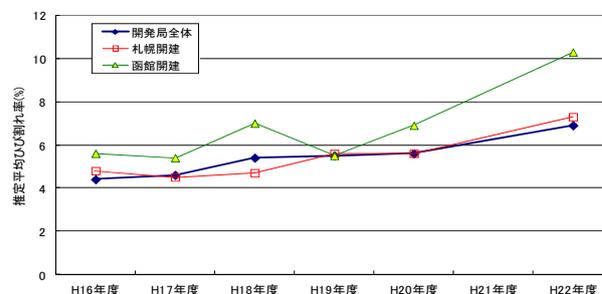


図-3.9 路面のひび割れ率の近年の推移

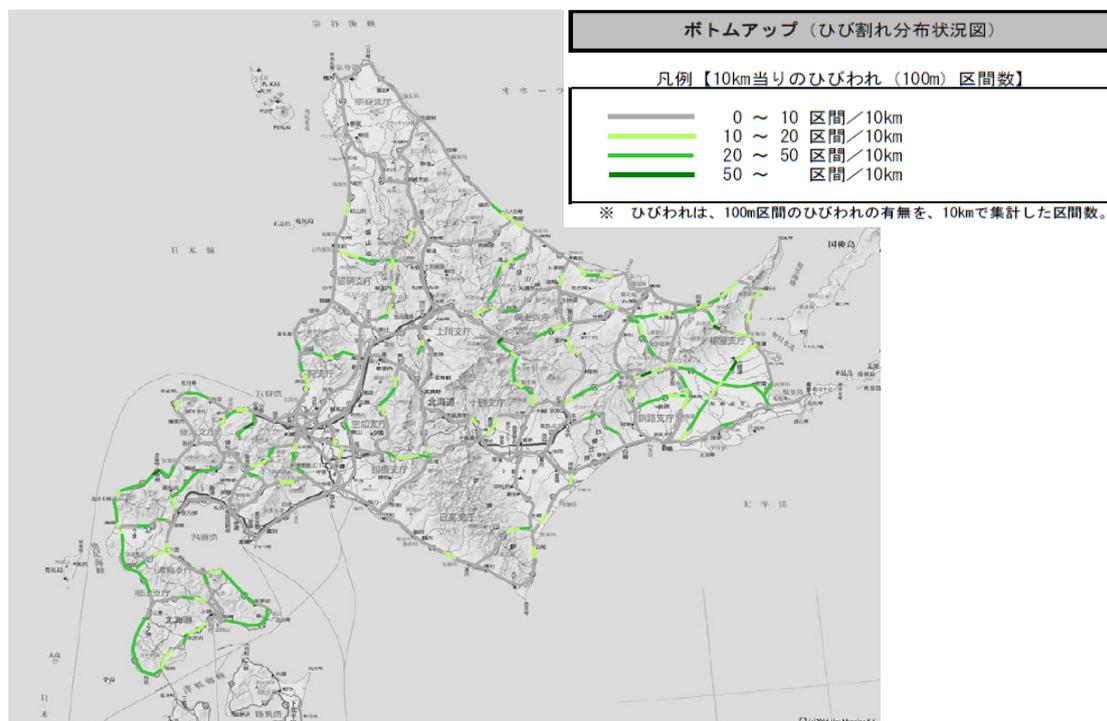


図-3.10 ボトムアップ型ひび割れ率5%以上の区間

4. 融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発

融雪期に発生した舗装損傷箇所のうち、ポットホール
の応急補修においては、気温が低く融雪水の影響を受け
るなど現場環境が厳しい中で早急な作業が余儀なくされ
るとともに、応急補修箇所にはその後の本格的な補修ま
での耐久性が要求される。

そのため、融雪期に発生したポットホールを応急的に
補修する際には、用いられる常温混合物の材料面での性
能と施工方法面での配慮が求められる。しかし、常温混
合物の材料面での耐久性の評価方法や、施工方法の違い
が耐久性に及ぼす影響については定まったものがなく、
どのような材料で、どのような方法で施工すると良いの
か、判断できない状況にある。

そこで、ポットホール補修に使用される常温混合物の
性能や耐久性を評価する手法に関して検討すること、お
よび、様々な種類の常温混合物の耐久性を把握すること
を目的に、以下に示す3種類の検討を行った。

- (1) 試験室における試験検討
- (2) 実物大試験走路における試験
- (3) 供用中の道路における試験

4.1 試験室における試験検討

融雪期のポットホール補修材料に必要な性能を洗い出
し、試験室レベルでの性能評価方法について検討を行っ
た。その上で、評価試験の結果を基に、常温混合物補修
材料の性能規定方法や加熱混合物の利用に関して検討を
加えた。

4.1.1 ポットホール補修材料に要求される性能

前章にも述べたとおり、ポットホールは融解期に水が
存在する条件下で凍結融解作用と輪荷重を受けて発生す
ることが分かっている⁹⁾。

融雪期は気温が低く、路肩や中央分離帯等に堆積され
た雪が解けた水が絶えず流入して、路面が湿潤かつ塵埃
で汚れた過酷な状況下において短時間での応急補修を余
儀なくされる点が、夏期など一般的な時期とは大きく異
なる。また、施工後も融雪水に曝され湿潤状態が継続し、
昼夜間の気温変化による凍結融解を繰り返し受ける点も
特筆される。このような条件下では、必然的に耐久性が
犠牲になることは避けられない面があるが、このような
条件下においても、極力、施工性や耐久性が高い補修材
料の開発が望まれる。そこで、融雪期のポットホール補
修に使用する混合物が、穴埋め作業時や施工後に必要と
考えられる性能を表-4.1のとおり整理した。

表-4.1に示した要求性能を評価する手法を検討し、各
種補修用混合物の特徴を把握するために、試験室レベル
での評価方法について検討を行った。

表-4.1 ポットホール補修材料に要求される性能の一覧

段階	要求される性能項目	性能の説明
施工時 (融雪期の 条件下)	①低温時作業性	融雪期などの低温時であっても、ポットホールを充填 する際に所定の締固め性が得られること。
	②作業時の水による 性能への影響	施工時にポットホール内に融雪水がたまっている場 合や、融雪水の流入により混合物が水に晒される場 合でも、混合物自体の性能低下を生じにくいこと。
供用時の 耐久性 (融雪期 の条件下)	③水浸状態による 性能への影響	施工後に融雪水の流入によって継続的に湿潤・水 浸状態に置かれる場合において、混合物自体の性 能が日数の経過に伴って低下しにくいこと。
	④凍結融解作用に よる性能への影響	施工後に水浸状態で凍結融解作用の繰り返しを受 けた場合でも、混合物の性能が低下しにくいこと。
	⑤様々な温度での 混合物性能の変化	施工後に晒される様々な温度環境下において、問 題となるような急激な性能の変化を起こさないこと。
	⑥水分の存在による 接着力への影響	ポットホールに充填された混合物と、既設舗装との 境界面が接着力を有すること。特に、ポットホール内 部に水分が存在する条件下でポットホールに充填さ れた場合でも、既設舗装との接着力を有すること。
	⑦耐摩耗性や 骨材飛散抵抗性	ポットホールに充填された混合物が、タイヤチェーン による摩耗、擦過作用に対して抵抗性を有すること。
長期供用時 の安定性	⑧供用後の 夏期の安定性	ポットホールに充填された混合物が融雪期を越えて 夏期まで残存した場合を想定し、通過車両のタイヤ 載荷に対する安定性を有すること。

表-4.2 試験方法および試験条件一覧表

段階	要求される性能項目	供試体 作成温度 (°C)	供試体 作成環境	養生 温度 (°C)	養生状態	養生期間 (日)	試験方法	試験温度(°C)	評価指標
施工時 (融雪期 の条件下)	(1)低温時作業性	0, 20	乾燥	5	気中	3	・密度測定	室温(20°C程度)	密度
	(2)作業時の水による 性能への影響	5	水浸	5	水中	0, 1, 3	・マーシャル安定度試験 (5°C 水浸後) ・カンタプロ試験(5°C水浸後)	5	安定度 損失率
供用時の 耐久性 (融雪期 の条件下)	(3)水浸状態による 性能への影響	5	乾燥, 水浸	5	気中, 水中	0, 1, 3, 7, 14, 28	・マーシャル安定度試験 (5°C 乾燥, 水浸後) ・カンタプロ試験 (5°C 乾燥, 水浸後)	5	安定度 損失率
	(4)凍結融解作用による 性能への影響	5	乾燥	5	水中	3日養生後に 凍結融解回数 0, 4, 8, 16, 32回	・カンタプロ試験 (5°C 凍結融解後)	5	損失率
	(5)様々な温度での 混合物性能の変化	5	乾燥	5	気中	3~7	・マーシャル安定度試験 ・カンタプロ試験	-15, -5, 0, 5, 15	安定度 損失率
	(6)水分の存在による 接着力への影響	5	乾燥, 水浸	5	気中, 水中	1, 7, 14	・乾燥接着力試験(5°C) ・水浸後接着力試験(5°C)	5	接着力
	(7)耐摩耗性や 骨材飛散抵抗性	5	乾燥	5	気中	3	チェーンラベリング試験	-10	すりへり量
長期供用時 の安定性	(8)供用後の 夏期の安定性	5	乾燥	5	気中	28	ホイールトラッキング試験	60	変形量

4.1.2 試験室レベルでの性能評価方法の検討

前節表-4.1.1の要求性能を評価・確認するための室内試験方法を検討する目的で、表-4.2に示す各要求性能項目に対応する室内試験を実施した。

融雪期のポットホール補修に用いる材料としては、常温混合物がよく用いられるが、加熱混合物を用いることもある。また、常温混合物は標準型常温混合物と、全天候型常温混合物に大別することができ、全天候型常温混合物は雨天時や湿潤時などでも使用できるようつくられた常温混合物である。そこで、室内試験の対象として、標準型常温混合物3製品(A、B、C)、全天候型常温混合物8製品(D、E、F、G、H、I、J、K)、加熱混合物1配合(密粒度混合物)の3種類合計12品を道内での使用実績を踏まえて選定し、各々の混合物に対して各性能項目に対応する評価試験を実施した。

試験方法と試験結果を以下の節で順に述べる。

(1) 低温時の作業性試験

a) 試験方法概要

常温混合物の温度を0℃と20℃にし、各温度で直径約10cmの円柱状供試体を作成して密度を測定する。20℃で作成した供試体と0℃で作成した供試体の密度比から、0℃時の施工性を評価する。

b) 試験結果

20℃で作成した供試体と0℃で作成した供試体の密度の比を図-4.1に示す。常温混合物は0℃付近の低温になると、20℃の場合に比べて硬くなる傾向にあるため、密度は若干出にくくなると考えられるが、いずれの常温混合物も0℃の作業時においても極端な密度低下は生じおらず、低温時の作業性を有していると考えられた。

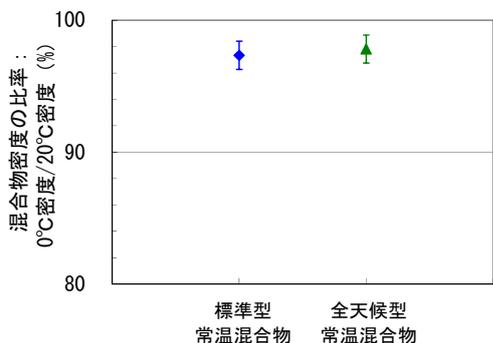


図-4.1 低温時の作業性(締固め易さ等)試験結果

(2) 作業時の水による性能への影響試験

a) 試験方法概要

混合物を水浸状態にしてショベルで10回程度混合物

と水をかき混ぜ、その後、直径約10cmの円柱状供試体を作成する。作成した供試体を所定の日数にわたって5℃で水中養生した後、5℃でマーシャル安定度と、5℃でカンタプロ損失率を計測する。水中での養生日数は、0日(2時間後)、1日後、3日後の3水準とした。比較のため乾燥状態で供試体を作成し、所定の期間気中養生した試験も実施した。

b) 試験結果

5℃の温度条件で実施したマーシャル安定度測定結果を図-4.2に、5℃の温度条件で行ったカンタプロ損失率測定結果を図-4.3に示す。図中に実線で示したのが、作業時に水の影響を受けたもので、点線で示したものが作業時には乾燥状態としたものである。図-4.2からは、作業時に水が介在すると安定度が小さくなる傾向を示し、作業時の水の影響を受けていることが読み取れる。図-4.3からは、作業時に水が介在すると、カンタプロ損失率は大きくなる傾向となり、欠損や飛散しやすくなることがわかる。以上のことから、作業時に常温混合物に水が混ざるような状況は極力避けた方が良く考えられる。

図-4.2と図-4.3の両方の図において、標準型も全天候型も作業時の水の影響を受けて性能は低下する方向に向かうが、全天候型の方が標準型よりも性能値としては良い傾向を保っている。

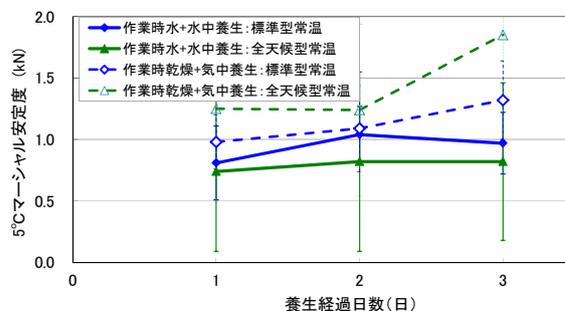


図-4.2 作業時の水によるマーシャル安定度への影響

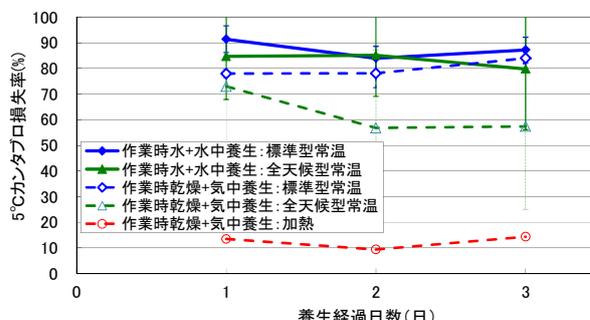


図-4.3 作業時の水によるカンタプロ損失率への影響

(3) 水浸状態による性能への影響試験

a) 試験方法概要

5°Cで円柱状供試体を作成し、5°Cの水中で所定の日数を養生後、5°Cでマーシャル安定度、5°Cでカンタプロ損失率を計測する。比較のため乾燥状態でも試験を実施した。経過日数は、0日(2時間後)、1日後、3日後、7日後、14日後、28日後の6水準とした。

b) 試験結果

水中養生後のカンタプロ損失率測定結果を図-4.4に、気中養生後のカンタプロ損失率測定結果を図-4.5に示す。全天候型常温混合物のカンタプロ損失率は標準型常温混合物に比べて小さく、飛散抵抗性が高いことが分かる。

しかし、水浸により、全天候型のカンタプロ損失率は大きくなる傾向を示しており、水浸状態が継続することで、乾燥状態の場合よりも、性能が低下することが分かる。

標準型は乾燥状態でも水浸状態でもカンタプロ損失率は大きい値のままである。

一方、加熱混合物は、乾燥時のカンタプロ損失率、水中養生後のカンタプロ損失率ともに低く、常温混合物に比べて水の影響を受けにくいことがわかる。

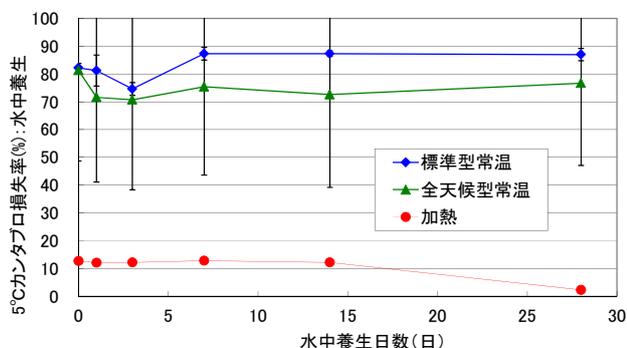


図-4.4 水中養生した後のカンタプロ損失率測定結果

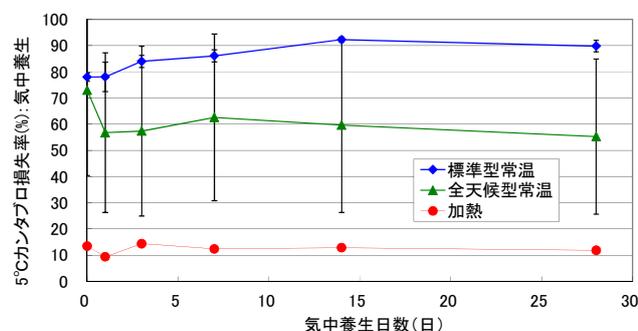


図-4.5 気中養生した後のカンタプロ損失率測定結果

(4) 凍結融解作用による性能への影響試験

a) 試験方法概要

直径約10cmの円柱状供試体を作成後、5°Cの気中で3日乾燥養生後、水浸状態で所定の凍結融解回数を作用させ、5°Cでカンタプロ試験を実施した。

凍結融解作用回数は、0回、4回、8回、16回、32回の5水準とした。供試体中心部温度が凍結工程+4.5°C→-18°C、融解工程-18°C→+4.5°Cで1回の凍結融解サイクルとした。

b) 試験結果

凍結融解作用を受けた後の5°Cの温度条件で行ったカンタプロ損失率測定結果を図-4.6に示す。凍結融解作用を受けることによって、常温混合物のカンタプロ損失率は大きくなり飛散しやすくなる傾向がみられる。標準型常温は凍結融解回数が少ない段階から損失率が大きい。全天候型常温混合物のカンタプロ損失率は標準型常温混合物に比べて若干小さく、特に凍結融解回数が少ない状況では損失率は小さく標準型常温より抵抗性は高いことが分かる。加熱混合物は、凍結融解作用を受けた後もカンタプロ損失率は全天候型常温混合物よりも低く、良い飛散抵抗性能を示している。

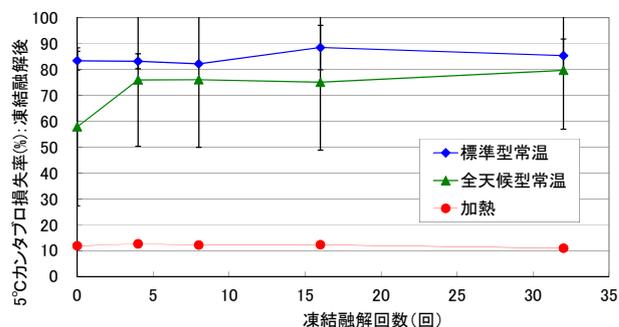


図-4.6 凍結融解作用による性能への影響試験結果

(5) 様々な温度での混合物性能の変化試験

a) 試験方法概要

温度ごとの常温混合物性能を把握する試験であり、マーシャル供試体作成後、5°Cの気中で約3日乾燥養生し、所定の温度条件下で2時間程度養生した後、マーシャル安定度試験およびカンタプロ試験を実施した。温度は、-15°C、-5°C、0°C、5°C、15°Cの5水準とした。

b) 試験結果

様々な温度でのカンタプロ損失率測定結果を図-4.7に示す。全天候型常温混合物は、標準型常温混合物に比べてカンタプロ損失率が小さい傾向がある。

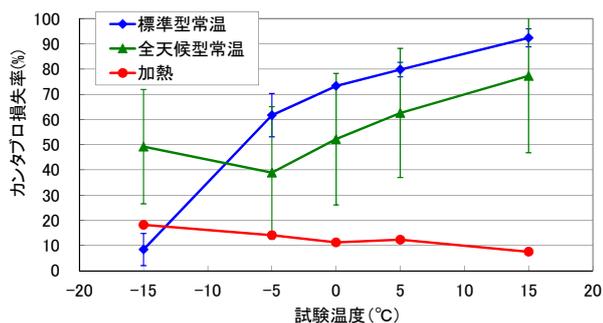


図-4.7 様々な温度での混合物性能の変化試験結果

(6) 水分の存在による接着力への影響試験

a) 試験方法概要

既設舗装を模擬したホイールトラッキング試験供試体の上に水を張り、常温混合物を投入して締固め、所定の経過日数の間 5°C で水中養生した後、5°C で接着力を測定した。

比較のために、既設舗装を模擬したホイールトラッキング試験供試体の上に、乾燥状態で常温混合物を投入して締固め、所定の経過日数の間 5°C の空气中で乾燥状態で養生した後、5°C で接着力を測定した。経過日数は、1 日後、7 日後、14 日後の 3 水準とした。

b) 試験結果

水分の存在による接着力への影響試験結果を図-4.8 に示す。既設舗装面に水分が存在する場合には、常温混合物は接着力が発生していない。ちなみに、乾燥状態で供試体を作成した場合においても、全ての常温混合物で接着力が発生していなかった。常温混合物は温度が低いので既設舗装面のアスファルトを溶融させるわけではないので高い接着力は得にくいと考えられる。一方で、加熱混合物は 1MPa~2MPa 程度の接着力が出ており、加熱混合物の優位性が認められる。

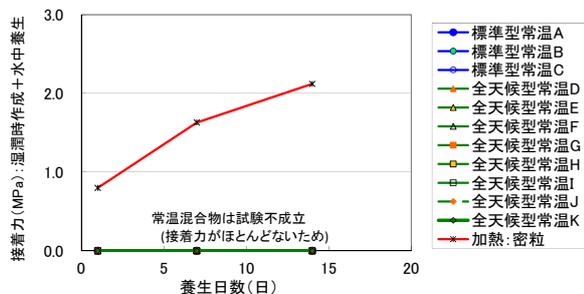


図-4.8 水分の存在による接着力への影響試験結果

(7) 耐摩耗性や骨材飛散抵抗性試験

a) 試験方法概要

チェーンラベリング試験用供試体を作成後、5°C の空气中で 3 日養生し、通常のチェーンラベリング試験(温度条件: -10°C)を実施してすり減り量を計測した。

b) 試験結果

チェーンラベリング試験結果を図-4.9 に示す。積雪寒冷地の表層混合物のすりへり量は、1.3cm²以下と規定されているが、常温混合物のすりへり量は、1.3cm²を上回るものがある。常温混合物の耐摩耗性や飛散抵抗性は、加熱混合物と比べて同等か劣る傾向にある。

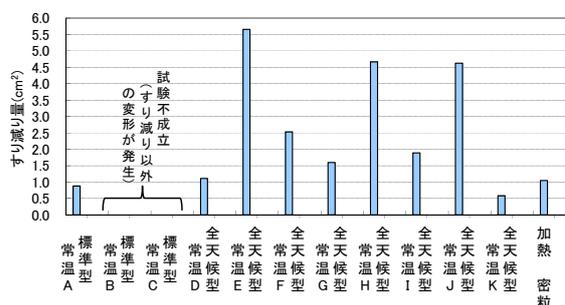


図-4.9 耐摩耗性や骨材飛散抵抗性試験結果

(8) 供用後の夏期の安定性試験

a) 試験方法概要

ホイールトラッキング試験用供試体作成後、5°C の空气中で 28 日養生し、通常のホイールトラッキング試験(温度条件: 60°C)を実施して動的安定度(DS)で評価する。

b) 試験結果

常温混合物は、60°C の試験温度では所定の 60 分載荷前に大きな変形が生じるためにすべての種類において試験が不成立であった。加熱混合物は試験が成立し動的安定度 DS=140(回/mm)であり、常温混合物よりも夏期の安定性が高い結果となった。

(9) 試験室での性能評価試験結果に対する考察

a) 評価試験方法について

融雪水や凍結融解作用の影響を受けることによって、マーシャル安定度やカンタプロ損失率などの性能値は低下することが確認された。したがって、今回実施した各種の室内試験は、融雪水や凍結融解作用を考慮した試験となっており、北海道の厳しい環境条件で使用するポットホール補修材料の性能を評価する試験手法になっていると考えられる。

b) 常温混合物の性能について

標準型常温混合物は、乾燥時、水浸時、凍結融解作用時のいずれの場合もマーシャル安定度とカンタプロ損失率は低いレベルであり、全天候型に比べて性能が劣っている。対して全天候型常温混合物は、特に乾燥状態において、標準型常温混合物に比べてマーシャル安定度が大きく、5°Cカンタプロ損失率が小さい傾向にあり、高い性能が確認できた。

全天候型常温混合物の性能値は、標準型常温混合物よりも良い値ではあるものの、水浸時や凍結融解作用時には性能の差が縮まる傾向を示した。特に、作業時に水の影響を強く受けた場合(水と一緒に攪乱される等)には、全天候型は標準型に比べ、マーシャル安定度ならびにカンタプロ損失率の差が必ずしも明確ではなくなることから、作業時には水と混合する状態にならないよう配慮する必要性が指摘できる。

c) 加熱混合物の性能について

加熱混合物は、全天候型常温混合物と比べても優位な性能をもち、水浸時や凍結融解作用時に受ける影響も常温混合物より小さいことが確認された。

4.1.3 試験室レベルでの性能評価方法の検討まとめ

(1) 試験室レベルでの評価方法について

融雪水や凍結融解作用の影響を受けることによって、ポットホール補修材の材質によりマーシャル安定度やカンタプロ損失率などの性能値が低下することが確認された。したがって、今回実施した各種の室内試験は、融雪水や凍結融解作用を考慮した試験となっており、北海道の厳しい環境条件で使用するポットホール補修材料の性能を評価する試験手法になっていると考えられる。

(2) ポットホール補修への常温混合物の使用について

試験室レベルの評価試験において、全天候型の常温混合物は標準型の常温混合物に比べて性能と耐久性が高いことが確認できた。融雪期のポットホール補修に使用する常温混合物としては、全天候型の使用が妥当と考えられる。また、融雪水が存在する環境下においても、耐久性を有する常温混合物の材料規格として、表-4.3に示す規格(案)を提案した。

(3) ポットホール補修への加熱混合物の使用について

加熱混合物は全天候型常温混合物と同等かそれ以上の性能を示し、加熱混合物を使用することが有効であることが示唆された。

表-4.3 融雪水に強い補修材材料規格(案)

性能が必要となる段階	必要と考えられる性能	試験方法 試験条件	指標および規格値(案)
施工時	低温時の作業性	混合物密度試験、 0°Cおよび20°Cで作成	密度比(0°C作成密度/ 20°C作成密度) 95%以上
	低温時の水に対する性能	5°Cカンタプロ試験 作業時水浸+水浸養生3日	カンタプロ損失率 85%以下
融雪期での耐久性	供用時の耐水性	5°Cカンタプロ試験 水浸養生7日	カンタプロ損失率 80%以下
	凍結融解作用に対する耐久性	5°Cカンタプロ試験 凍結融解16回	カンタプロ損失率 80%以下
		5°Cカンタプロ試験 気中養生3日	カンタプロ損失率 70%以下
	様々な温度環境での性能	0°Cカンタプロ試験 気中養生3日	カンタプロ損失率 60%以下
-5°Cカンタプロ試験 気中養生3日		カンタプロ損失率 50%以下	

4.2 実物大試験走路における試験

ポットホール補修に使用される常温混合物の性能や耐久性を実物大スケールで評価する手法を検討するため、実物大試験走路において現場試験を行った。

4.2.1 試験手法

当研究所が所有する苫小牧寒地試験道路の周回路において、カッターや電動ピックを使用して様々な形の擬似ポットホールを同一車線上に一定間隔で作成し、写真-4.1のように融雪期に水浸の状態に常温混合物を投入し、プレートで転圧し補修した。その上を写真-4.2のように水浸状態で大型車(10t 満載ダンプトラック)と中型車(4t トラック)を繰り返し走行させて耐久性を比較評価することを試みた。評価指標は、常温混合物の補修直後の面積に対する残存割合(%)とし、走行台数が各々200台になるまで路面に常に散水して湿潤状態にしており、水の影響を受けた状態で車両を走行させるようにした。

試験には、標準的な常温混合物1種類と、全天候型の常温混合物1種類を使用した。なお、全天候型の常温混合物とは、気温が低くかつ水が存在する中でも柔軟性・作業性・接着性・耐久性を有する常温混合物である。



写真-4.1 擬似ポットホールへの常温混合物投入状況



写真-4.2 現場試験状況

4.2.2 試験結果

常温混合物を充填後に大型車を走行させ、累積走行台数が200台になった時のポットホール補修部の状況を写真-4.3に示す。標準的な常温混合物は写真-4.3左側に示すとおり部分的に欠損して穴が再発していることが分かる。一方、全天候型の常温混合物を写真-4.3右側に示すが、欠損は見られなかった。車両の通過台数と残存割合の関係を図-4.10に示す。標準的な常温混合物は欠損を生じている(穴が再発している)のに比べて、全天候型の常温混合物は欠損は見られず、耐久性が高いことが確認できた。

現場試験においては、標準的な常温混合物と全天候型の間には耐久性の差が見られたと考えられる。しかし、ポットホール補修材の耐久性評価試験としては、実際の供用道路における状況の再現性に改善すべき点があると思われることから、今後も継続して検討を進める必要がある。

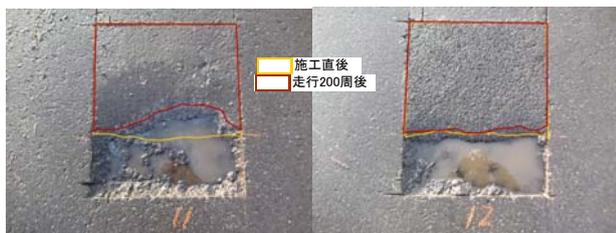


写真-4.3 常温混合物の残存状況 (走行 200 周後)

左: 標準型、右: 全天候型

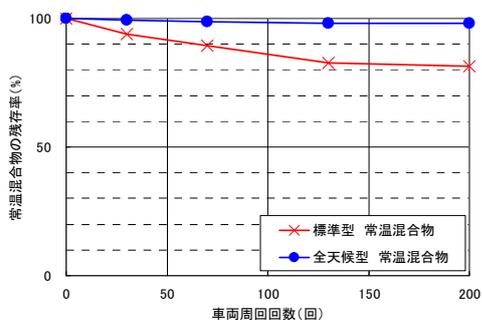


図-4.10 車両の走行に伴う常温混合物の残存率

4.3 供用中の道路における試験

ポットホール補修に使用される常温混合物や加熱混合物の性能や耐久性を実際に使用されている条件下で評価すること、および、補修施工方法の違いによる耐久性の差を評価することを目的に、供用中の道路において現場試験を行った。

4.3.1 供用中の道路における試験手法

(1) 常温混合物と加熱混合物の耐久性調査方法

供用中の道路において、様々な全天候型常温混合物と加熱混合物でポットホールを補修して耐久性を調査した。実際の道路維持作業で使用される任意の常温混合物または加熱混合物に対して、補修後から約1ヶ月までの残存状況を目視により調査した。残存状況の判断は、手直しが実施されたか否かもしくは、手直しが必要かどうかで判断した。

(2) ポットホール補修施工方法の調査方法

補修施工方法の違いによる耐久性の差を評価することを目的に、使用する全天候型常温混合物は同一とし、ポットホール補修の施工方法を変えて、補修後から約1ヶ月後までの残存状況を目視により調査した。

施工方法の種類は図-4.11に示した、水分や土砂の除去のみの場合、水分や土砂を除去した上で表面を乾燥させた場合、水分や土砂を除去した上で脆弱部も除去した場合の3種類である。現在、実際の現場で多く用いられる標準的な方法は、水分や土砂の除去のみの方法である。

(3) 調査結果の整理方法

現道において発生するポットホールは、場所的にも時間的にも散発的に発生するものなので、補修時および補修後の気象条件、交通量や荷重などの条件を統一することは困難である。したがって、調査のデータから、材料や施工方法の耐久性を単純に比較できるものではないことを踏まえる必要がある。データの質として、同じ条件下でのデータを比較解析できないことから、重回帰分析などの統計的な解析はあえて行わず、相対比較のみ行うこととした。

4.3.2 供用中の道路における試験結果

(1) 常温混合物と加熱混合物の耐久性調査結果

供用中の道路において、ポットホールを水分や土砂の除去のみを除去後に全天候型常温混合物で充填する方法で補修して耐久性を調査した結果を図-4.12に示す。

全天候型常温混合物は、補修後一週間程度までは90%以上と大半が残存しており、約1ヶ月後においても50~70%程度が残存していることが確認できる。

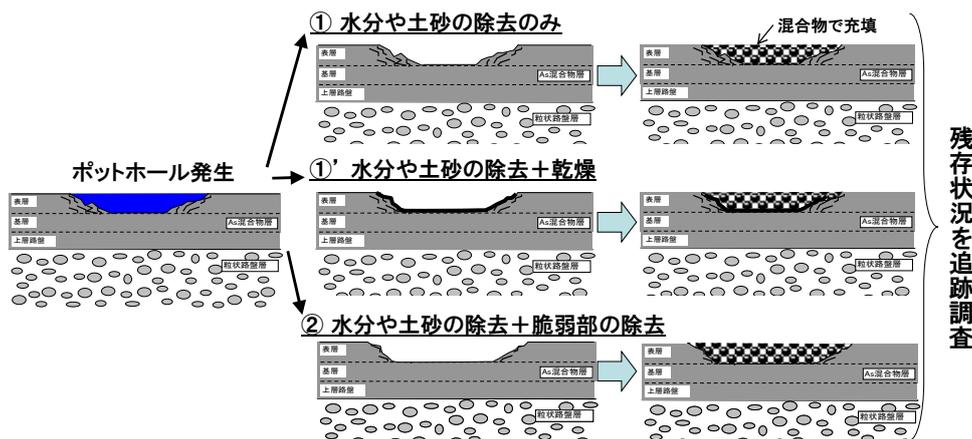


図-4.11 ポットホール補修施工方法の調査概要図

全天候型でない標準的な常温混合物に関しては、今回データが取れなかったものの、道路維持工事受注者への聞き取り結果では、標準型の常温混合物は数日の内に飛散しほとんど残存しないとされているのに比較して、全天候型混合物の残存率は高いと考えられる。常温混合物を用いる場合は全天候型を使用することが望ましい。

次に、ポットホールを水分や土砂の除去のみを除去後に加熱混合物で充填する方法で補修して耐久性を調査した結果を図-4.13 に示す。加熱混合物でポットホール充填を行った場合の残存率は、1ヶ月後約80%程度となっており、全天候型常温混合物よりも高い様子が読み取れる。加熱混合物を使用できると、残存率を高められる可能性が高い。そのため、プラントが近傍にあるなど、融雪期でも加熱混合物の入手・施工が可能な場合には使用を検討することは意味がある。なお、加熱混合物を用いる場合には、運搬時および施工時に温度が低下した部分が生じて品質の低下や廃棄ロスが生じることが考えられるため、その点を念頭に使用を検討する必要もある。

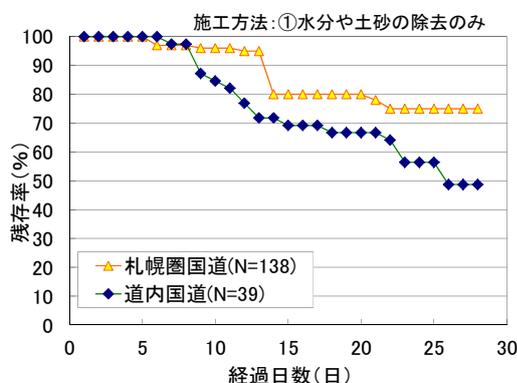


図-4.12 全天候型常温混合物の残存率

(2)補修施工方法の調査結果

使用する全天候型常温混合物は同一とし、様々な補修方法でポットホールを補修して耐久性を調査した結果を、図-4.14 に示す。

水分、泥の除去だけでは約一ヶ月後の残存率は約70%程度であるのに比べて、脆弱部除去を行った場合の残存率は、90%程度となっていることから、脆弱部の除去は10~20%程度残存率を改善する効果が認められる。一方で、表面を乾燥させた場合は、残存率は目立った向上がみられず、乾燥させる効果は大きいものではないといえる。今回の調査においては路面表面を乾燥させたのみであり、ひび割れ内部や表面よりも深い部分に水分が残っていた状態であったと考えられ、そのために乾燥の効果が低い結果になったと推測している。

図-4.15 には、補修施工におけるさまざまな作業ごとの所要時間を整理した結果を示す。水分や土砂の除去後に混合物を充填、転圧するという標準的な作業に要する時間は、水分除去 1.3 分+充填 1.3 分+転圧 1.7 分=4.4 分である。脆弱部の除去を行うとさらに追加で約4分を要する。乾燥作業を行う場合には、さらに追加で約2分を要する。脆弱部の除去には先述したように残存率を改善する効果があるが、作業に要する時間はほぼ倍に増えることとなる。

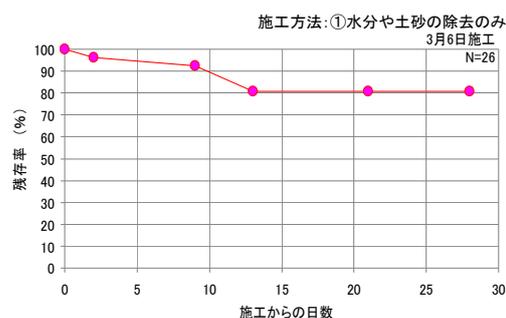


図-4.13 加熱混合物の残存率

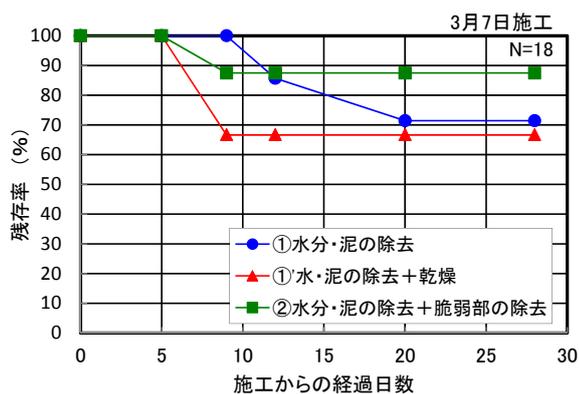


図-4.14 工法別の残存率

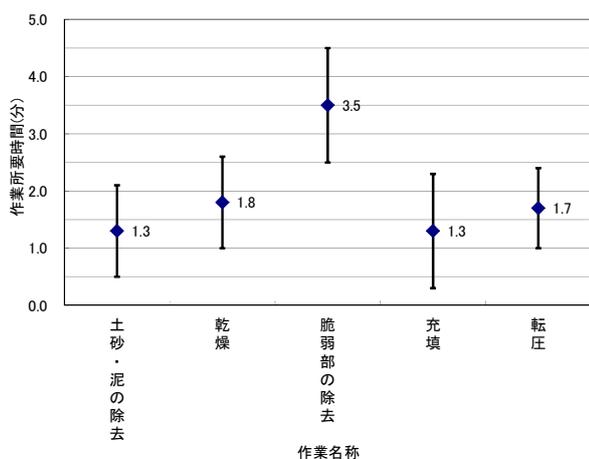


図-4.15 ポットホール補修に要する作業時間

5. 融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案

これまでに行った研究を基に、融雪水が舗装構造に及ぼす影響について整理し、道路舗装の耐久性向上を図るための具体策の検討や、現場技術者向けの技術資料作成を行った。また、融雪水の浸入や舗装体内における滞留が、舗装の支持力を低下させ、損傷を進展させることが明らかとなり、融雪水の浸入を防止する対策や浸入した融雪水を速やかに排除する舗装構造とするなど、排水機能を高める工夫をすることで損傷の進展を抑制することが可能と考えられるため、遮水排水構造を検討した。

5.1 道路舗装の耐久性を向上させる具体策

北海道における融雪水による舗装の損傷を減らして道路舗装の耐久性を向上させるためには、アスファルト舗装の新設及び補修にあたって、舗装損傷の主な要因である「水・温度変化・荷重」に留意しつつ、可能な限り適切な施工時期を選び、低温下での施工は極力避けることが重要と考えられる。さらに、適切な施工管理、品質管理によって長期的な舗装の機能を確保し、ライフサイクルコストを低減することが大切である。

そこで、上述した観点を技術者が広く共有し、舗装の耐久性向上が図られるようハンドブックの作成を行うこととした。

また、融雪水の影響を考慮した舗装構造の一環として融雪水の排水システム全般に関して論点整理を行った上で、融雪水の排水に効果的と考えられる排水構造の工夫と最近の技術について、調査検討を行った。

5.2 技術ハンドブックの作成

北海道開発局などとの連携により、開発局をはじめ北海道や市町村の現場技術者向けに、「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術ハンドブック」(図-5.1)を共同執筆した。本ハンドブックは、舗装の新設及び補修に関する技術のうち、北海道における道路舗装の耐久性向上に向け、工事担当技術者(発注者及び受注者)が留意すべき事項について、わかりやすくとりまとめたものである。

ハンドブックは、以下の「はじめに」、「北海道における舗装の損傷事例と要因」、「北海道の耐久性を向上させる具体策」、「アスファルト混合物によるポットホールの応急補修に関する留意点」、「あとがき」の5つの章で構成している。

「はじめに」では、本ハンドブックの位置づけ・目的や舗装の耐久性向上及び補修にあたっての留意点等を記している。

続いて、「北海道における舗装の損傷事例と要因」において、北海道特有の損傷事例やポットホールの発生メカニズムについて記している。

「北海道の耐久性を向上させる具体策」では敷均しや転圧など新設アスファルト舗装に関する留意点及びオーバーレイ等の補修工法やシール材工法等の予防保全などといった舗装補修に関する留意点など、道路舗装の耐久性向上のため、現場技術者が道路舗装の施工の際に留意することが記されている。

「アスファルト混合物による応急補修に関する留意点」では、応急補修に関する留意点や路面が湿潤・乾燥それぞれの状況の場合における応急補修方法等が記されている。

ハンドブックは当研究所ホームページで公開し普及を図った(ハンドブックのダウンロード先 URL: www2.ceri.go.jp/jpn/iji/taikyusei_handbook/form.htm)。ダウンロード数は2300件を超えており、現場技術者の間で有効に活用されていると考えられる。

はじめに	
本書の位置づけ・目的	1
読者の想定と本書の構成	2
編纂スタッフの構成と役割	3
北海道の道路舗装の現状と課題	4
北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術	
道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術	5
ポットホール補修に関する技術	6
ポットホール補修に関する技術	7
ポットホール補修に関する技術	8
ポットホール補修に関する技術	9
ポットホール補修に関する技術	10
北海道の道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術	
ポットホール補修に関する技術	11
ポットホール補修に関する技術	12
ポットホール補修に関する技術	13
ポットホール補修に関する技術	14
ポットホール補修に関する技術	15
ポットホール補修に関する技術	16
ポットホール補修に関する技術	17
ポットホール補修に関する技術	18
ポットホール補修に関する技術	19
ポットホール補修に関する技術	20
ポットホール補修に関する技術	21
ポットホール補修に関する技術	22
ポットホール補修に関する技術	23
ポットホール補修に関する技術	24
ポットホール補修に関する技術	25
ポットホール補修に関する技術	26
ポットホール補修に関する技術	27
ポットホール補修に関する技術	28
ポットホール補修に関する技術	29
ポットホール補修に関する技術	30
ポットホール補修に関する技術	31
ポットホール補修に関する技術	32
ポットホール補修に関する技術	33
ポットホール補修に関する技術	34
ポットホール補修に関する技術	35
ポットホール補修に関する技術	36
ポットホール補修に関する技術	37
ポットホール補修に関する技術	38
ポットホール補修に関する技術	39
ポットホール補修に関する技術	40
ポットホール補修に関する技術	41
ポットホール補修に関する技術	42
ポットホール補修に関する技術	43
ポットホール補修に関する技術	44
ポットホール補修に関する技術	45
ポットホール補修に関する技術	46
ポットホール補修に関する技術	47
ポットホール補修に関する技術	48
ポットホール補修に関する技術	49
ポットホール補修に関する技術	50
ポットホール補修に関する技術	51
ポットホール補修に関する技術	52
ポットホール補修に関する技術	53
ポットホール補修に関する技術	54
ポットホール補修に関する技術	55
ポットホール補修に関する技術	56
ポットホール補修に関する技術	57
ポットホール補修に関する技術	58
ポットホール補修に関する技術	59
ポットホール補修に関する技術	60
ポットホール補修に関する技術	61
ポットホール補修に関する技術	62
ポットホール補修に関する技術	63
ポットホール補修に関する技術	64
ポットホール補修に関する技術	65
ポットホール補修に関する技術	66
ポットホール補修に関する技術	67
ポットホール補修に関する技術	68
ポットホール補修に関する技術	69
ポットホール補修に関する技術	70
ポットホール補修に関する技術	71
ポットホール補修に関する技術	72
ポットホール補修に関する技術	73
ポットホール補修に関する技術	74
ポットホール補修に関する技術	75
ポットホール補修に関する技術	76
ポットホール補修に関する技術	77
ポットホール補修に関する技術	78
ポットホール補修に関する技術	79
ポットホール補修に関する技術	80
ポットホール補修に関する技術	81
ポットホール補修に関する技術	82
ポットホール補修に関する技術	83
ポットホール補修に関する技術	84
ポットホール補修に関する技術	85
ポットホール補修に関する技術	86
ポットホール補修に関する技術	87
ポットホール補修に関する技術	88
ポットホール補修に関する技術	89
ポットホール補修に関する技術	90
ポットホール補修に関する技術	91
ポットホール補修に関する技術	92
ポットホール補修に関する技術	93
ポットホール補修に関する技術	94
ポットホール補修に関する技術	95
ポットホール補修に関する技術	96
ポットホール補修に関する技術	97
ポットホール補修に関する技術	98
ポットホール補修に関する技術	99
ポットホール補修に関する技術	100

図-5.1 北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術ハンドブックの表紙と目次

5.3 融雪水の排除に関わる道路排水システム全般論

舗装体に影響を及ぼす冬期および春先の水の供給源としては、以下の項目を挙げることがでる。

- ・降雪後や除雪後に路面に残った雪
- ・路肩や中央帯の堆雪
- ・冬場の降雨
- ・道路のり面の積雪
- ・斜面など道路敷地外の積雪

また、供給源からの融雪水の移動経路も併せて図示すると、図-5.2に示す概要図のように整理できる。つまり、融雪水は路面、のり面、道路敷地外からの表面水以外にも、地下水、路盤や路床内部に浸透する水など、様々な経路から舗装体に影響を及ぼすことが理解できる。これらの水が、舗装体に影響を及ぼし、損傷を早める要因となる。

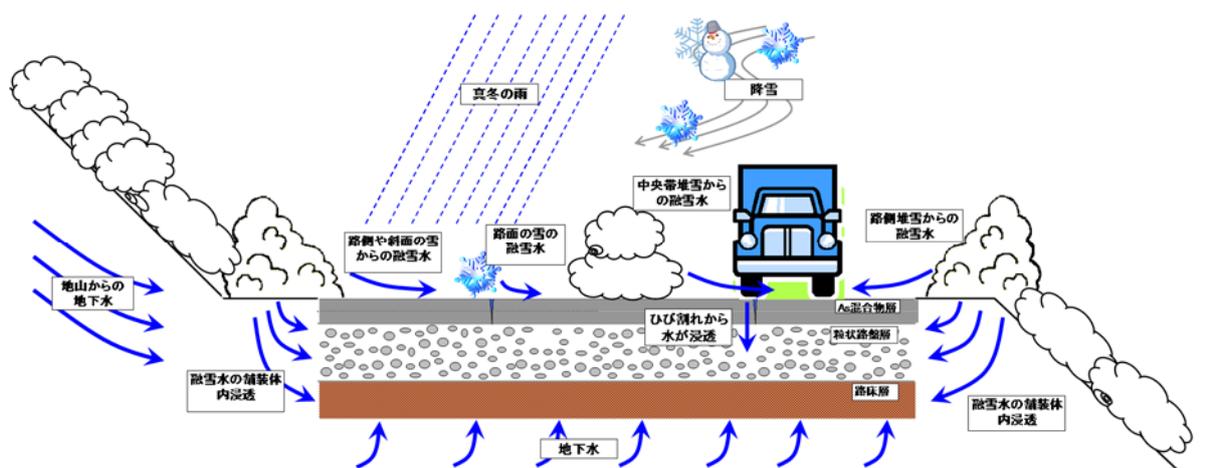


図-5.2 冬期および春先の融雪水の供給源と移動経路(図-2.16再掲)

一般的に、道路における排水システムは以下に示した種類の排水から構成される。

- ①路面排水
- ②のり面排水
- ③道路横断排水
- ④地下排水
- ⑤路盤路床排水
- ⑥構造物裏込め排水

これら各種の排水経路が適切に組み合わせりシステムとして排水機能を発揮することで、道路構造全体を水の悪影響から守るという視点に立っている。従来の排水構造の設計は、主として降雨に対して行われるものである。しかし、本プロジェクト研究で明確になったように、融雪期の水により舗装体が悪影響を受け損傷が生じており、融雪による水も対象とした設計を従来の排水構造設計に加えて適宜行う必要性があると考えられる。

ただし、本研究の検討範囲は、排水システム全般を根本から見直そうというものではない。従来の排水システムを基盤として、融雪水の排除能力を部分的に高めるための遮水・排水・新材料の活用等による排水構造対策を検討するものである。近年、主に国外においてジオシンセティックスなどを遮水材料として用いた排水構造が適用されており、それらの技術について調査した。なお、ジオシンセティックスとは土木や建築構造物等に使用する石油化学繊維製品の総称であり、表-5.1のように分類されるものである。このうち、排水や遮水の用途に用いられるものは、ジオノンウォーブン(不織布)、ジオコンポジット、ジオメンブレンなどである。

表-5.1 ジオシンセティックスの種類

ジオテキスタイル	ジオオープン
	ジオノンオープン(不織布)
	ジオユニット
ジオグリット	
ジオネット	
ジオメンブレン	
ジオコンポジット	

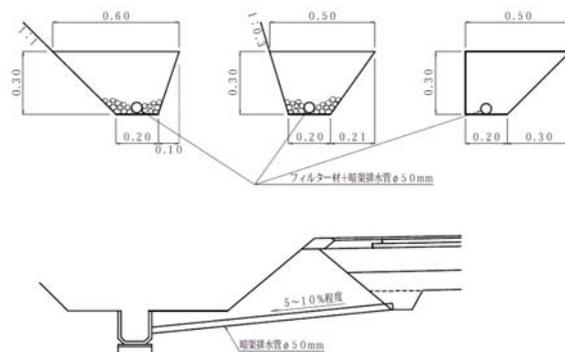


図-5.3 北海道開発局の路床排水工¹⁰⁾

5.4 融雪水の排除能力を高めるための排水構造の検討

舗装体に影響を及ぼす融雪水の排水や遮水を考える際の基本的な考え方は以下の2つに整理できる。

- 1) 融雪による水を極力舗装体内部に浸透させずに表面で遮水し、排水する。
- 2) 舗装体内部に浸透した水や、地山からの地下水流入、地下水位の上昇に対しては、路盤や路床へ水分が極力浸入しないよう、舗装体内部に設置した地下排水系統で速やかに排除する。もしくは遮水する。

本研究では、上記の2)の考え方に立った具体的な工法について、国外の工夫事例等を調査検討した。その結果を以下に述べる。

(1) 舗装体内部に浸透した水の遮水および排水

北海道開発局の工事においては、切土部盛土部共に図-5.3に示すような路床排水工を設置することとなっている。また、切土箇所地下水位が高い場合などは図-5.4に示すような遮断式地下排水工を設けることとしている。碎石などの透水性の材料部分で水を集め、底部に設けた有孔管で縦断方向に排水するものであり、これらの舗装体内部の排水工により融雪期の水は排除され、有効に機能していると考えられる。しかし、水が多い場合や経年数が増えるにつれて碎石などの透水性材料が細粒分で詰まってしまう可能性があり、その場合には路盤や路床に水が浸透・滞留しやすくなることも起こりうる。融雪期の水による支持力低下とそれに伴う舗装損傷が多いことを鑑みると、舗装体内部の排水についても改善する余地があると考えられる。

そこで本検討では、既存の構造を活かしつつ、舗装体内部に浸透した融雪水をより効率的に排除する排水方式として、ジオシンセティックスを用いたトレンチドレインとフィンドレインについて整理した結果を述べる。

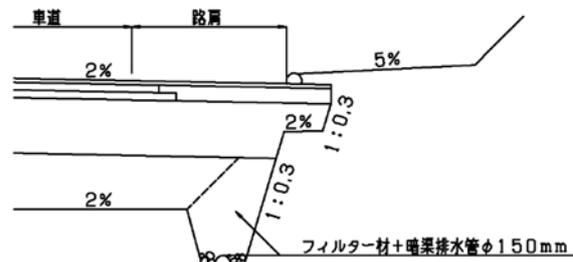


図-5.4 北海道開発局の遮断式地下排水工¹⁰⁾

a) トレンチドレイン(Trench Drain)

トレンチドレインは、道路端部に狭い溝を掘り、溝に有孔管を設置し、周囲を透水性粒状材で充填したものである。設置事例を図-5.5、図-5.6に示す。図に示したように、透水性粒状材の周囲にはジオシンセティックスを敷設し、細粒分が透水材料や多孔管の内部に流入することを防止する。我が国においても図-5.3や図-5.4に示したような同様の排水構造が存在するが、ジオシンセティックスによって細粒分が透水性材料内に入り詰まることを防ぐ構造になっている点が違いである。適切に施工されたトレンチドレインは、排水機能が長期的にわたって有効に働く。なお、トレンチドレインに用いる排水管の径は150~200mmが一般的とされている。

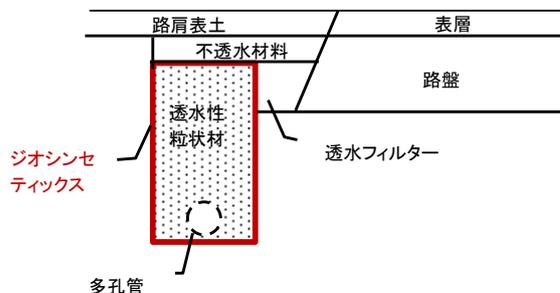


図-5.5 舗装体内部の排水を対象としたトレンチドレインの例

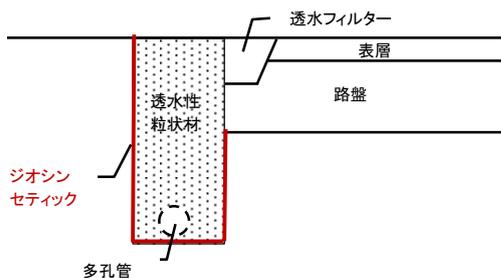


図-5.6 路面排水と舗装体内部の排水を対象とした
トレンチドレインの例

b) フィンドレイン(Fin Drain)

フィンドレインは、道路端部に200mm程度の狭隘な溝を掘削し、溝に沿ってジオノンウォーブン(不織布)を敷設した後でその内部にジオコンポジット(複数のジオシンセティックで構成される複合材料)や有孔管を溝の中に設置し、周囲を透水性材料で埋め戻して構築する排水工であり、概要図を図-5.7、図-5.8に示した。路盤や路床の側面から供給される水を、ジオシンセティックによって側面で遮断して縦断方向に排水するものであり、従来の排水構造に比べて側面からの水が路盤や路床に浸入することを防ぐ効果が高いと考えられる。狭い空間での設置が可能であることや、ジオシンセティックによって側面からの水の浸透を遮断できることがメリットである。ただし、フィンドレインはその断面積が小さいことから多くの水を運ぶことはできないため、地下水水位自体が高いような場合にそれを低くするような用途には適していない。トレンチドレインと似ているが、フィンドレインがより狭い溝幅で設置可能であることと、ジオコンポジット(複数のジオシンセティックで構成される複合材料)を用いることが違いであり、ジオコンポジットはロール状のプレキャスト製品で搬入でき施工も比較的容易とされている。

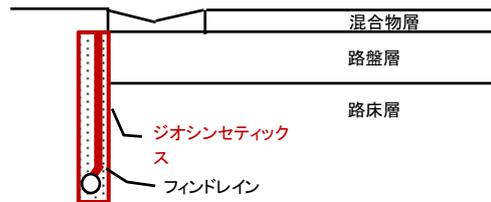


図-5.7 フィンドレインの設置例

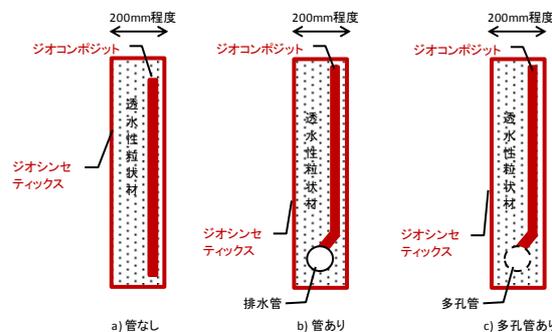


図-5.8 フィンドレインの構造例

c) 排水層による舗装体内部の排水

透水性材料で構成された層を舗装内部に用いることにより、舗装内部に浸透した水をこの層内を通して外部へ排水する方法もある。その一例を図-5.9に示す。排水層の設置位置は、混合物層、路盤層、路盤下など、適宜使い分けることができる。透水性材料は、細粒分の占める割合に上限を持たせた碎石や開粒度材料であり、セメントやアスファルトで安定処理された材料も使用されることがある。

この排水層に細粒分が浸透し、排水機能を損なうことがないように、路盤や路床との境界にジオシンセティックを設置することが国外では推奨されている。

以上のように、ジオシンセティックを活用した排水構造が国外では適用されており、ここで述べた以外にも様々な形式での排水に活用されている。これらの新材料を活用することで、遮水、排水機能を高めることができる可能性があり、融雪水を速やかに排除するための排水構造としても有用であると考えられる。

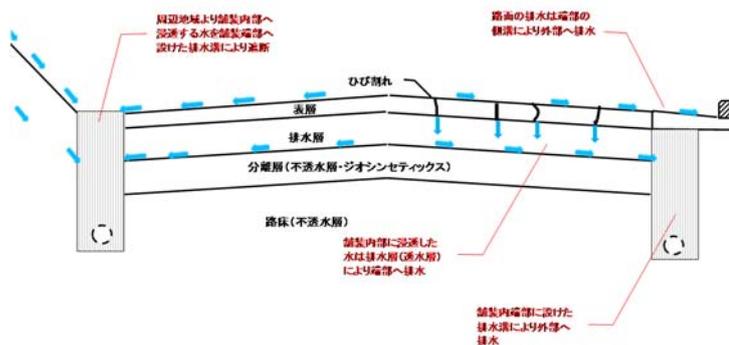


図-5.9 排水層による舗装体内部の排水例

6. 融雪水を考慮した舗装の対策手法の中長期的影響・効果の予測

6.1 温度管理が中長期的耐久性に与える影響の調査

融雪水の影響を受けにくくするための一つの対策手法としては、舗設時の温度管理や施工管理をあげることができる。舗設時の温度管理や施工管理が舗装の品質や中長期的な耐久性に与える影響を把握するための調査を行った。

6.1.1 調査方法

国道 337 号長沼町銀座、228 号知内町重内、釧路町中央の 3 箇所の工事現場で、アスファルト混合物の運搬時および施工時の温度低下や温度ムラを測定した。舗装端部や打ち継ぎ目などの箇所の締固め度を測定した。

また、国道 229 号共和町宮丘の工事現場において、敷均し温度および転圧温度が異なる区間を隣接して設け、各工区から切り取りコアを採取して締固め度を測定し、各工区の耐久性を追跡調査した。

6.1.2 調査結果

(1) 打ち継ぎ目部や端部の混合物密度計測結果

打ち継ぎ目や端部と一般部の締固め度の比較結果を図-6.1 に示す。打ち継ぎ目や端部においても密度は仕様書規格値 (94%以上) を満足しており、問題はないと言える。端部やジョイント部とはいえ、最適温度範囲で良好に施工されれば所定の締固め度が得られるものといえる。ただし、一般部との相対比較においては、打ち継ぎ目や端部の締固め度は低くなっている。一般論として端部やジョイント部は中央部の区間と比べて敷均しや転圧がしにくい部位であり、混合物温度も低下しやすい部位であるため、締固め度は相対的に低くなり、相対的な弱点となる可能性が高い。そのため、必要がある場合には、以下のような工夫が考えられる。

- ・ 転圧回数や転圧方法を工夫する
- ・ ジョイント部や端部の混合物の温度低下が起きないようにジョイントヒータの利用などを検討する

(2) 敷均し温度と締固め度の関係

敷均し温度と締固め度の関係に関する調査結果を図-6.2 に示す。敷均し温度が低下するほど、締固め度が低いことがわかる。

さらに、図-6.3 には、締固め度とカンタプロ損失率の関係に関する調査結果を示した。締固め度が低いと、カンタプロ損失率が高くなる傾向を示す傾向にあることが読み取れる。カンタプロ損失率が高いと、飛散などポットホール発生に繋がる損傷を受けやすくなると推測される。実際に、現地の施工後 6 ヶ月までの追跡調査によって、

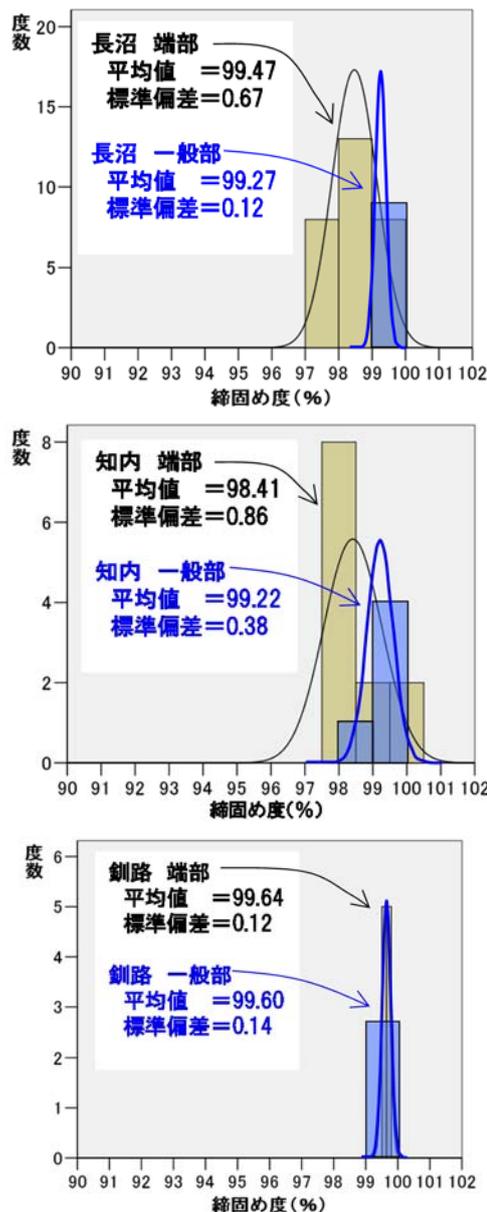


図-6.1 端部と一般部の締固め度の違い

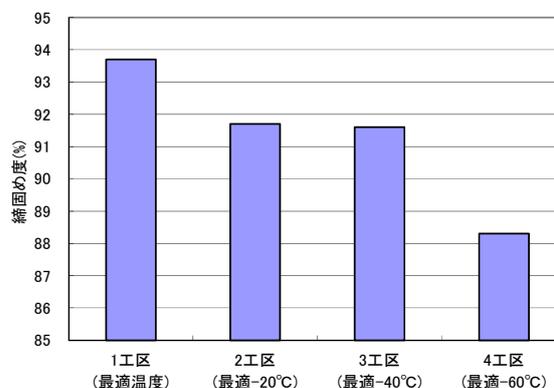


図-6.2 敷均し温度と締固め度の関係

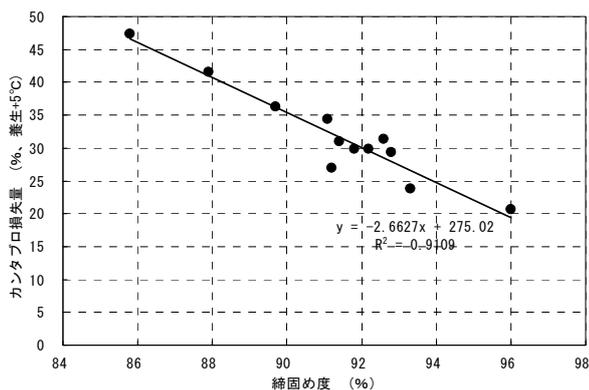


図-6.3 締固め度とカンタプロ損失率の違い

締固め度が低い区間ほど骨材飛散が生じている状況が確認できている。

(3) 舗設時の温度管理や施工管理が舗装の品質や中長期的な耐久性に与える影響の検討

前述したように、敷均し時や転圧時の混合物温度が最適温度よりも低いと、締固め度が低く飛散などポットホール発生に繋がる損傷を受けやすい混合物になるため、最適温度範囲で施工することが、舗装の中長期的な耐久性を高めるために有効と指摘できる。このことは従来から言われてきた基本的なことであるが、コスト縮減や施設の老朽化に対する対策の中長期的な視点から、改めてその重要性を認識することが大切である。

6.2 融雪水を考慮した中長期的な予測

融雪水による舗装の損傷は、ひび割れ部から進展することから、ひび割れ発生量を抑制することが有効な対策の一つとして挙げられる。しかし、舗装ストックの老朽化が進む中、舗装のひび割れ率ならびにひび割れ発生量が将来的に増加する可能性が高い。ひび割れ率の上昇に伴ってポットホールなど融解期の舗装損傷も多くなると推測され、損傷を補修するための費用も増大すると考えられる。そこで、現在までのひび割れ率と融雪期の舗装損傷発生量の関係を基に、今後の中長期的なひび割れ率および融雪期の舗装損傷の発生量のパフォーマンスカーブを設定し、将来推移を把握した。

6.2.1 融雪水の影響を考慮したパフォーマンスカーブ検討方法

北海道の国道における融雪期のポットホール発生状況の調査データおよび路面性状調査データを活用し、ひび割れ率の推移のパフォーマンスカーブとポットホール発生量の将来予測パフォーマンスカーブを設定することとした。

6.2.2 融雪水の影響を考慮したパフォーマンスカーブ検討結果

(1) ひび割れ率とポットホール発生の関係

比較的ポットホールの発生が多く見られる延長約28kmの路線において、1区間を100mとしてその区間のひび割れ発生有無を調査して得たデータを基に、路面のひび割れ率とポットホール発生区間割合の関係を整理した結果を図-6.4に示す。ひび割れ率が高くなるにつれて、ポットホールが発生する区間の割合が高くなる傾向がみられる。つまり、ひび割れ率が高い区間ほど、ポットホールが発生する確率が高いといえる。

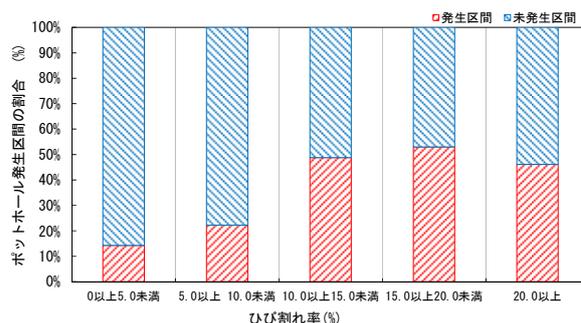


図-6.4 ポットホール発生率とひび割れ率の関係

次に、北海道内の大半の地域を対象とした調査から得られた、調査路線の平均ひび割れ率とポットホール発生個数との関係を整理した結果を図-6.5に示す。ひび割れ率は5%刻みの階級に区分しており、ひび割れ率が高くなるほど車線km当りのポットホール発生個数が多くなる傾向にあることが分かる。図-6.5のデータを基に、ひび割れ率と車線km当りのポットホール発生個数の関係を回帰分析した結果を図-6.6に示す。回帰式から、ひび割れ率と車線km当りのポットホール発生個数の関係を式(6.1)のとおり設定した。

$$\text{車線}km\text{当りのポットホール発生個数} = 0.1677X + 1.0531 \quad (6.1)$$

ここで、X: 路線の平均ひび割れ率 (%)

(2) 今後10年間のひび割れ率推移

過年度の路面性状調査データを用いて、平均ひび割れ率の推移実態を整理した結果を図-6.7に示す。ひび割れ率は増加している実態にあることが理解できる。ひび割れ率がこのように年々増加する理由は、舗装ストックの老朽化が着実に進行していることが一つの要因と考えられる。老朽化の進行は今後も同様に続くと考えられることから、このグラフデータの回帰式の外挿をもって平均

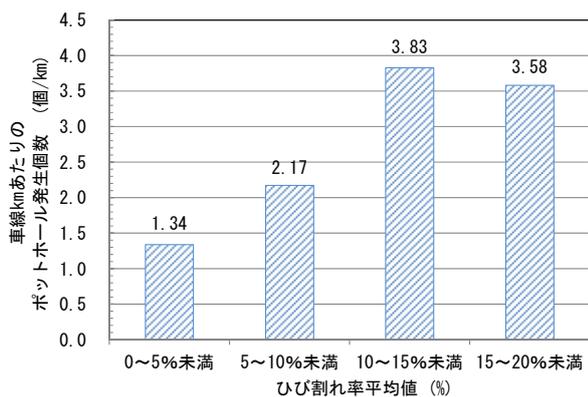


図-6.5 ひび割れ率と車線 km 当りの発生個数

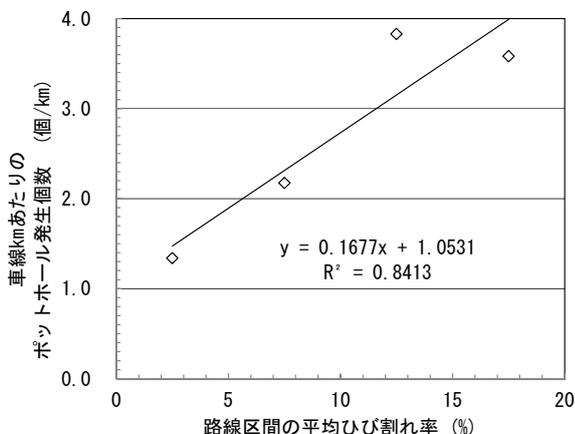


図-6.6 ひび割れ率と車線 km 当りの発生個数の回帰分析

ひび割れ率の推移パフォーマンスカーブとし、式(6.2)のように設定した。

$$\text{平均ひび割れ率} = 0.4536X - 3.4805 \quad (6.2)$$

ここで、X: 予測したい平成年度 (年)

次に、式(6.2)を用いて平均ひび割れ率の今後 10 年間の推移をグラフ化した結果を図-6.8 に示す。道内の国道の平均ひび割れ率は年々増加していくと予想され、10 年後の平成 36 年度には約 12%程度になると推定された。

(3)ポットホール発生個数の将来推移

ひび割れ率に応じたポットホールの発生量の推定式である式(6.1)と、平均ひび割れ率の推移パフォーマンスカーブである式(6.2)を用いて、車線 km 当りのポットホール発生量の将来推移パフォーマンスカーブを算定した結果を図-6.9 に示す。

平成 26 年 3 月時点では車線 km あたり約 2.4 個の発生量であるポットホールの発生個数が、今後 10 年間に約 30%増加し、車線 km あたり約 3.1 個の発生量と

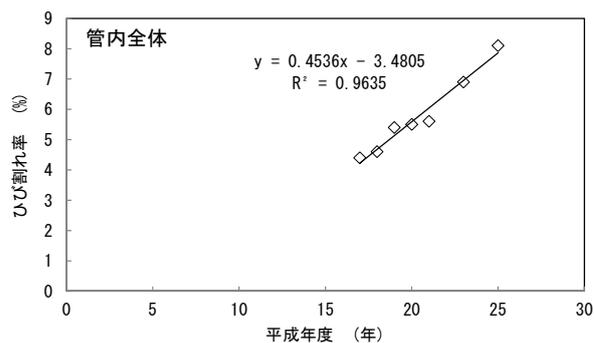


図-6.7 ひび割れ率推移の実態と予測式

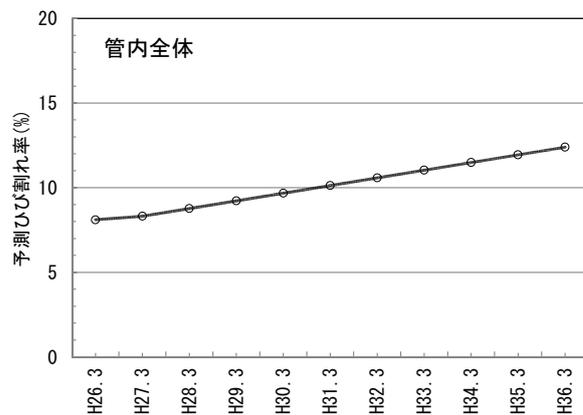


図-6.8 ひび割れ率平均値の将来推移

なる。したがって、ポットホール補修に要する補修手間、補修材料費も現在よりも 30%増加程度すると予想される。

(4)ポットホール対策の中長期予測

前述したように、ひび割れの増加に伴い融雪期に発生するポットホールは増加し、その増加量を定量的に把握することができた。ポットホールの増加に応じて、補修の工期や材料費が多く必要となることが予想されるが、前述した排水構造の工夫や、シール材などの予防的対策、さらには計画的な路面補修によってポットホールの発生量の増加を抑制もしくは減らすことも可能と考えられる。

シール材注入による予防的対応を行った場合と、ポットホールが発生する都度穴埋めなど事後対応を行う場合の将来的な補修費の試算を行った結果を図-6.10 に示す。シール材によるポットホール抑制効果が 10%程度であっても予防的対応を採用した場合の方が累計補修費は少なくなることが分かる。このような中長期的な予測に基づく、シール材などでの予防的対応が、ライフサイクルコスト(LCC)を小さくすることができる有効な方法であり、効果的な舗装補修対策として評価できる。

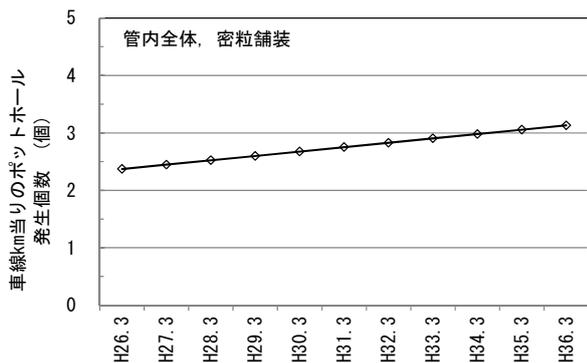


図-6.9 車線km当りのポットホール発生箇所数の将来推移

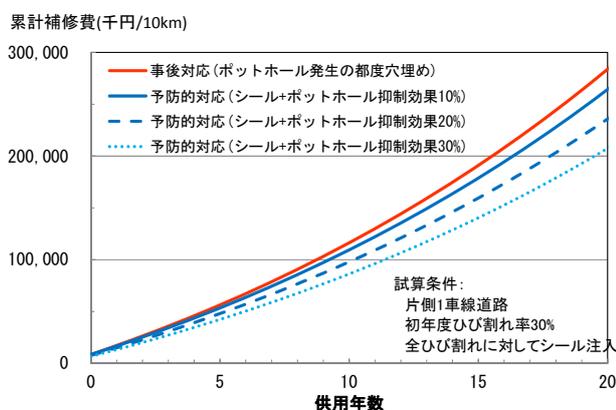


図-6.10 事後対応と予防的対応の補修費予測例

7. まとめ

(1) 融雪水が舗装体に及ぼす影響の検証

融雪水が路盤材料に与える影響を把握するための調査の結果、路盤上面および中間部において、路盤材料の融解に伴い含水比が一時的に増加していることが確認でき、室内試験と現地調査では同じ傾向が確認できた。含水比の上昇に伴って支持力が低下するものと考えられ、融解期の支持力低下に関係する現象を把握することができた。

また、室内試験によって0.5mm~1mm程度および、それ以上の幅のひび割れからは、水が容易に浸透してることが確認されたことから、融雪期には、融雪水が舗装のひび割れや打ち継ぎ目部分から容易に浸入していく状況にあると考えられた。

上述したような試験や調査を踏まえ、融解期の融雪水の浸入が、凍結融解などを繰り返しながら舗装体に及ぼす具体的な変化を明らかにし、融解期に損傷が発生するメカニズムについて整理した。

(2) 融雪水による舗装破損高リスク箇所の推定手法の開発

ポットホールの発生実態を調べた結果、ポットホールが発生しているのはゼロクロッシングが発生しているときであり、融雪水が路面に存在することが要因となっていることが確認できた。道路管理者や道路利用者にポットホールの発生リスクが高くなる条件を明示することで注意を喚起することを目的としたポットホール発生リスク予測手法について検討を進め、融雪期のポットホール発生リスクが高い条件は以下のとおり整理した。

- 1) ポットホールが多く発生する時期
 - 融雪期に多い
- 2) ポットホールが発生しやすい部位
 - 元々ひび割れがある部位
 - 融雪水が流入・滞留しやすい部位
 - ひび割れ率が高い区間や路線
- 3) ポットホール発生時の気象条件
 - ゼロクロッシング発生日およびその1~2日後

さらに、今後の長期的な観点でのポットホール発生リスク予測についても検討を行い、路面のひび割れ率の現状把握や将来予測結果から、路面のひび割れ率が今後さらに増加し、ポットホールの発生量も将来的に増加する可能性を示した。

(3) 融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発

融雪水や凍結融解作用など厳しい環境条件で使用するポットホール補修材料の性能を評価する室内試験手法を提案した。

ポットホールを模擬した実物大道路での常温混合物の耐久性試験によって、標準的な常温混合物に比べて、全天候型の耐久性は高い傾向にあることが確認できた。しかし、試験評価手法としてはまだ改善の必要があるものと考えられる。

供用中の道路において、常温混合物や加熱混合物でポットホールを補修して耐久性を調査した。また、様々な補修方法でポットホールを補修して耐久性を調査した。その結果、常温混合物を用いる場合は全天候型を使用することが望ましく、プラントが近傍にあるなど、融雪期でも加熱混合物の入手・施工が可能な場合には使用を検討することを提案した。

(4) 融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案

北海道における道路舗装の耐久性向上に向け、道路管理者と共同で「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術ハンドブック」を作成した。ハンドブ

ックはHPで公開して普及を図っており、ダウンロード数 2300 件以上と現場技術者の間で有効に活用されていると考えられる。

融雪水の影響を考慮した舗装構造の一環として融雪水の排水システム全般に関して論点整理を行った上で、融雪水の排水に効果的と考えられる排水構造の工夫と最近の技術について、調査検討を行った。特に、ジオシンセティックスを活用した遮水排水構造に着目して技術の整理を行った。

(5) 融雪水を考慮した舗装の対策手法の中長期的影響・効果の予測

締固め度が低いと飛散などポットホール発生に繋がる損傷を受けやすくなると推測されることから、高い締固め度が得られるよう適切な温度でムラのない均一な施工を行うことが、舗装の中長期的な耐久性を高めるために有効であることを示した。

現在までのひび割れ率と融雪期の舗装損傷発生量の関係を基に、今後中長期的にはひび割れ率が増加する傾向にあることを把握し、融雪期の舗装損傷の発生量のパフォーマンスカーブから、ポットホールの発生量が今後 10 年間で 30%程度増加すると予想されることを提示した。

中長期的な予測に基づき、シール材注入工法がLCCを小さくできる効果的な舗装補修対策と評価された。

参考文献

- 1) 土木学会舗装工学委員会寒冷地舗装小委員会：積雪寒冷地の舗装、舗装工学ライブラリ 6、2011.
- 2) 久保宏、岩崎信行：アスファルト混合物の凍結融解試験について、土木試験所月報No.287、1977.
- 3) 丸山記美雄、高橋守人、早坂保則：表層用アスファルト混合物の凍結融解作用に対する抵抗性、平成 12 年度土木学会年次学術講演会、2000.
- 4) 安倍隆二、丸山記美雄、熊谷政行：積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の理論的設計方法に用いる材料特性および環境条件に関する検討、寒地土木研究所月報 No.708、2012.
- 5) 国土交通省：道路統計年報
- 6) 気象庁訳：IPCC 第 4 次評価報告書第一作業部会報告書技術要約、2007.
- 7) 久保宏、岩崎信行：アスファルト混合物の凍結融解試験について、土木試験所月報No.287、1977.
- 8) 丸山記美雄、高橋守人、早坂保則：表層用アスファルト混合物の凍結融解作用に対する抵抗性、平成 12 年度土木学会年次学術講演会、2000.
- 9) 丸山記美雄、安倍隆二、熊谷政行：融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム、第 57 回北海道開発技術研究発表会、維 11、2014.
- 10) 北海道開発局：道路工事設計施工要領(平成 26 年度版)、2014.

RESEARCH ON EFFECT OF SNOWMELT WATER ON ROAD STRUCTURES AND ITS COUNTERMEASURE

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Road Maintenance Research Team

Author : KIMURA Takashi

MARUYAMA Kimio

ABE Ryyuji

Abstract : This research verifies the effect of snowmelt water and freezing and thawing on paved roads. Assesses high risk parts of pavements damaged by snowmelt water and discusses repair and prevention methods were conducted. The process was investigated from snowmelt water penetration into the pavement structure and freeze-thaw, which were followed by a decrease in the bearing capacity of the base course and subgrade materials and, finally, the occurrence of damage. We clarified that the conditions that increase the risk of pothole occurrence are the existence of snowmelt water, freeze-thaw, and the existence of cracks. After clarifying the conditions for pothole occurrence, we proposed that when using a cold mix asphalt material to repair potholes, it is desirable to use an durable cold mix asphalt material and that it is advisable to use a hot asphalt mixture whenever possible even during the snowmelt season. Furthermore, we created a technical manual for measures to improve the durability of road pavements, and we proposed a seepage control work that uses geosynthetics.

Key words : snowmelt water, freeze-thaw cycles, potholes, cold mixture