

## 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はこれまでも認識されてきたことである。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、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。平成 26 年度は、融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発として、試験室レベルでのポットホール補修材料の性能評価方法を検討した。さらに、融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案に関して、ジオシンセティックスを活用した遮水排水構造の検討を行った。中長期の影響と効果予測について、ひび割れ率と融雪期のポットホール発生量のパフォーマンスカーブを設定した。

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に影響を受けるため、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<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。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<sup>5)</sup>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。また他方では、IPCC 第 4 次報告書<sup>6)</sup>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、特に暖冬傾向が強かった平成 18 年度の冬期には北海道各地で路面のひび割れ、沈下が多発し、GW 前に集中的な路面補修が必要となっている。また、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。平成 26 年度は、融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発として、試験室レベルでのポットホール補修材料の性能評価方法を検討した。さらに、融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案に関して、ジオシンセティックスを活用した遮水排水構造の検討を行った。中長期の影響と効果予測について、ひび割れ率と融雪期のポットホール発生量のパフォーマンスカーブを設定した。

## 2. 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。

したがって、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  
配慮と施工方法面での配慮が求められる。しかし、これ  
までに常温混合物の材料面での耐久性の評価や、施工方  
法の違いが耐久性に及ぼす影響について調査検討が行わ  
れたことはなく、融雪期に発生するポットホールの補修  
に関して、どのような材料が望ましいのか、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。

平成 26 年度は、北海道の融雪期に発生するポットホ  
ールの応急補修用材料の評価方法を検討するべく、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。さら  
に、評価試験の結果を読み取ることで、各種の補修材  
料の性能の特徴を比較評価した。

### 2.1 ポットホール補修材料に要求される性能

これまでの調査結果から、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。

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  
考えられる性能として表-1 のとおり整理した。

表-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  
の評価方法と、実道レベルの評価方法として実物大道路  
および供用中の道路での耐久性評価方法について検討を  
行った。

表-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 荷重に対する安定性を有すること。

### 2.2 試験室レベルでの性能評価方法の検討

前章表-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-1 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

表-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

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°C と 20°C 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°C で作成した供試体と 0°C で作成した供試体の密度比から、0°C 時の施工性を評価する。

b) 試験結果

20°C で作成した供試体と 0°C で作成した供試体の密度の比を図-1 に示す。常温混合物は 0°C 付近の低温になると、20°C 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°C の作業時においても極端な密度低下は生じておらず、低温時の作業性を有していると考えられた。

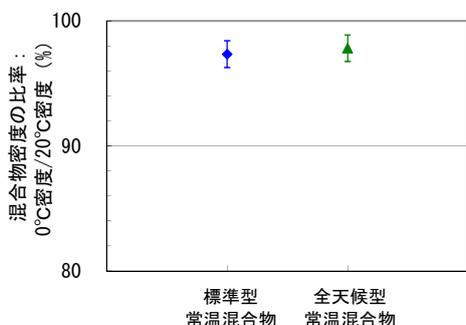


図-1 低温時の作業性 (締固め易さ等) 試験結果

(2) 作業時の水による性能への影響試験

a) 試験方法概要

混合物を水没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°C で水中養生した後、5°C でマーシャル安定度と、5°C 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、所定の期間空中養生し

た試験も実施した。

b) 試験結果

5°C の温度条件で実施したマーシャル安定度測定結果を図-2 に、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-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-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-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と考えられる。

図-2 と図-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。

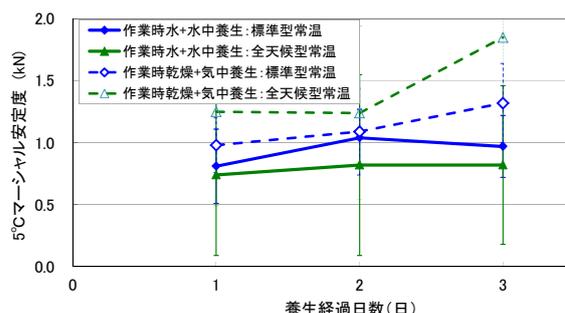


図-2 作業時の水によるマーシャル安定度への影響

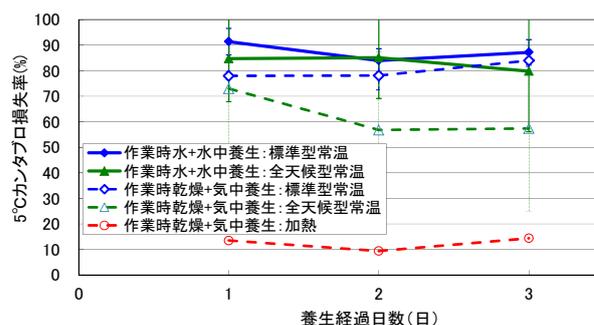


図-3 作業時の水によるカンタプロ損失率への影響

(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に、気中養生後のカンタプロ損失率測定結果を図-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。

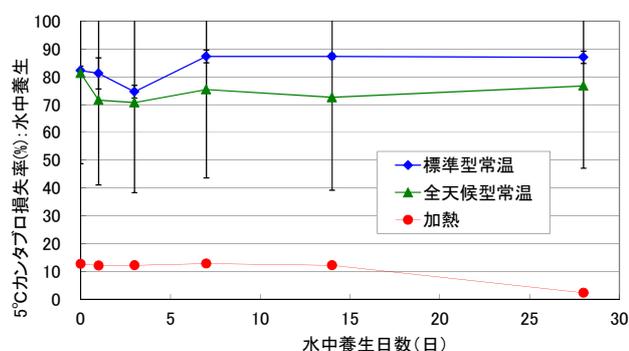


図-4 水中養生した後のカンタプロ損失率測定結果

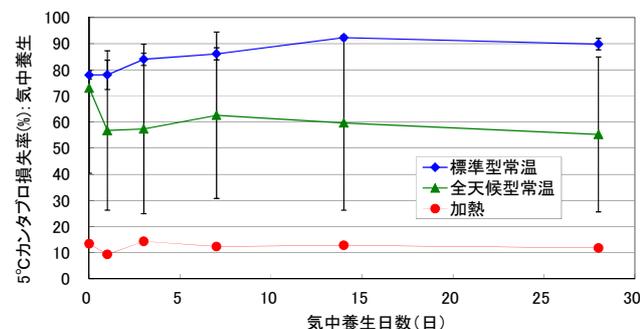


図-5 気中養生した後のカンタプロ損失率測定結果

(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℃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℃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℃→-18℃、融解工程-18℃→+4.5℃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℃の温度条件で行ったカンタプロ損失率測定結果を図-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。

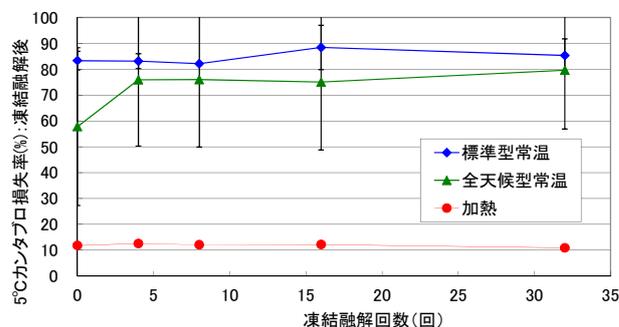


図-6 凍結融解作用による性能への影響試験結果

(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℃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℃、-5℃、0℃、5℃、15℃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-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。

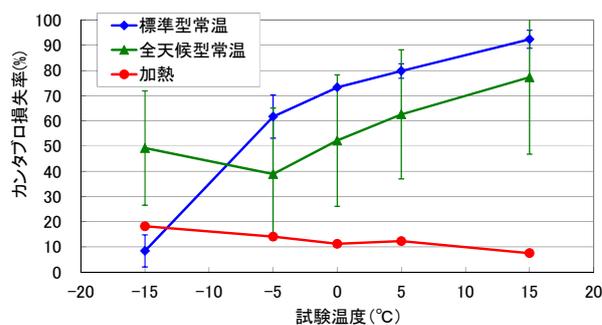


図-7 様々な温度での混合物性能の変化試験結果

(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 の気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-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。

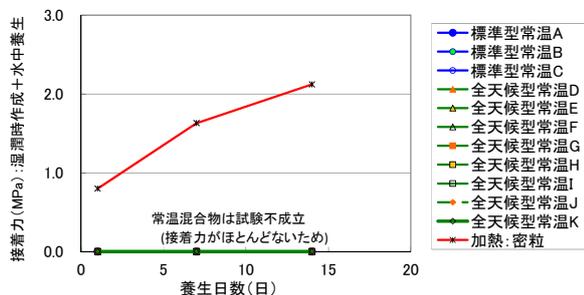


図-8 水分の存在による接着力への影響試験結果

(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 の気中で 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-9 に示す。積雪寒冷地の表層混合物のすりへり量は、1.3cm<sup>2</sup> 以下と規定されているが、常温混合物のすりへり量は、1.3cm<sup>2</sup> 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。

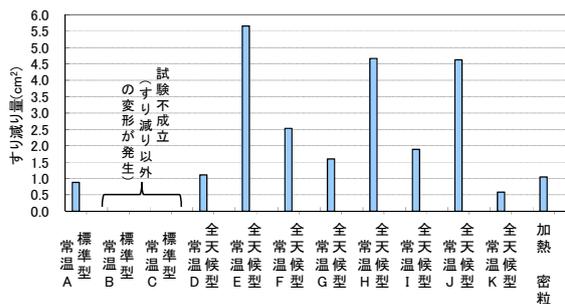


図-9 耐摩耗性や骨材飛散抵抗性試験結果

(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 の気中で 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に適で使用でき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も

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れた性能をもち、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。

## 2.3 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ブ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。

### (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。

## 3. 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から、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っている。さらに表面の滞水により補修材の耐久性も低下させている。言い換えれば、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。

そこで平成 26 年度は、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。

## 3.1 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-10 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。

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

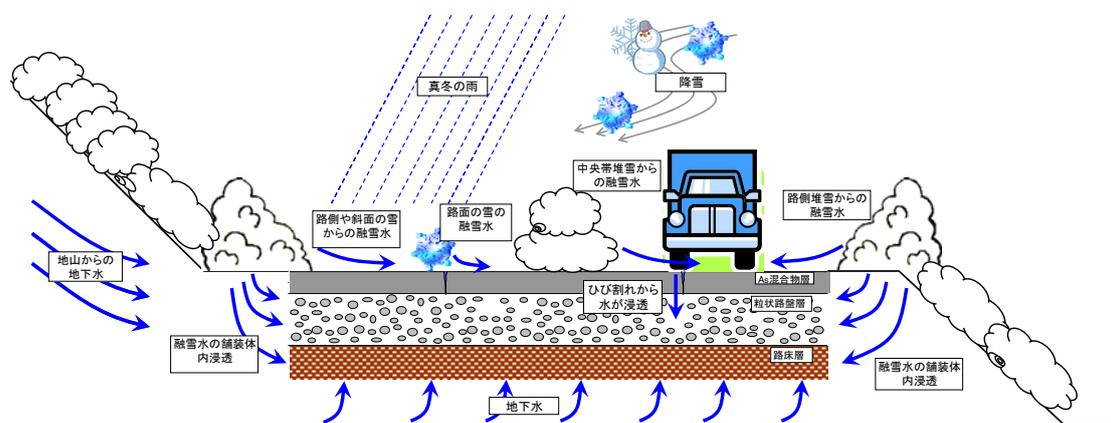


図-10 冬期および春先の融雪水の供給源と移動経路

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-2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-2 ジオシンセティックスの種類

ジオテキスタイル	ジオウォーブン
	ジオノンウォーブン(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	

### 3. 2 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侵入しないよう、舗装体内部に設置した地下排水システムで速やかに排除する。もしくは遮水する。

今年度の検討では特に、上記のb)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ものであり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-11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-12に示すようなしゃ断式地下排水工を設けることとしてい

る。砕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砕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。

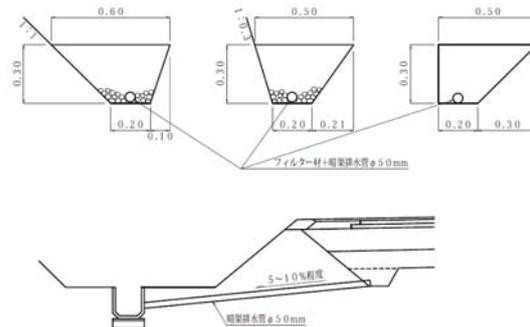


図-11 北海道開発局の路床排水工<sup>8)</sup>

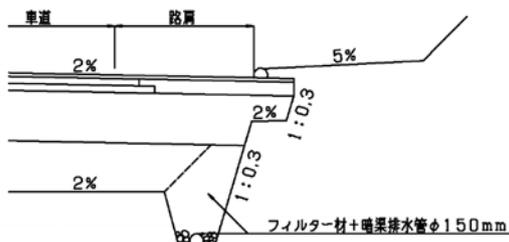


図-12 北海道開発局の遮断式地下排水工<sup>8)</sup>

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。

#### 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-13、図-14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-11や図-12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の違いである。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

150～200 mmが一般的とされている。

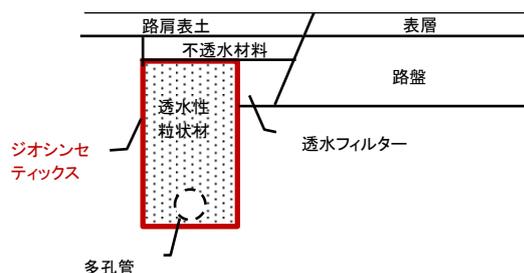


図-13 舗装体内部の排水を対象とした  
トレンチドレインの例

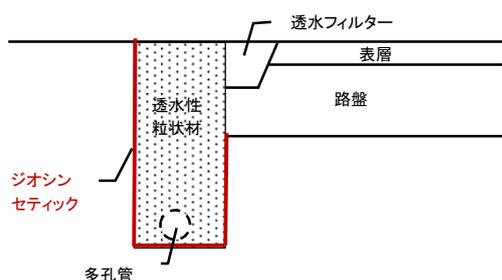


図-14 路面排水と舗装体内部の排水を対象とした  
トレンチドレインの例

#### b) フィンドレイン(Fin Drain)

フィンドレインは、道路端部に200mm程度の狭い溝を掘削し、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-15、図-16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。

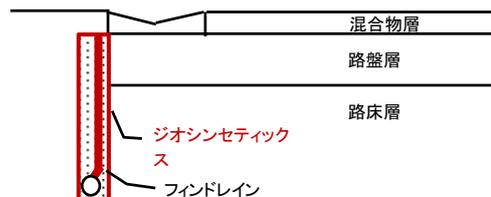


図-15 フィンドレインの設置例

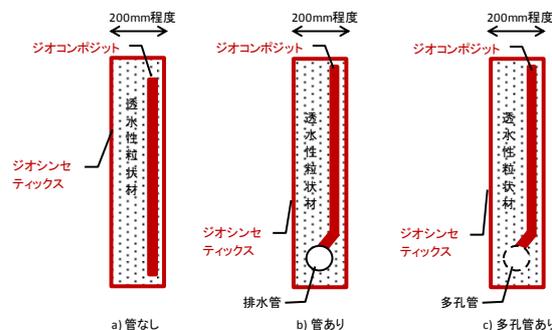


図-16 フィンドレインの構造例

#### 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を通して外部へ排水する方法もある。その一例を図-17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砕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。

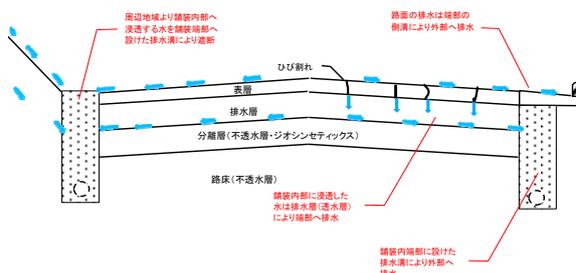


図-17 排水層による舗装体内部の排水例

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。

#### 4. 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

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。そこで平成26年度は、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。

##### 4.1 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

過年度に実施した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。

##### 4.2 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-18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。

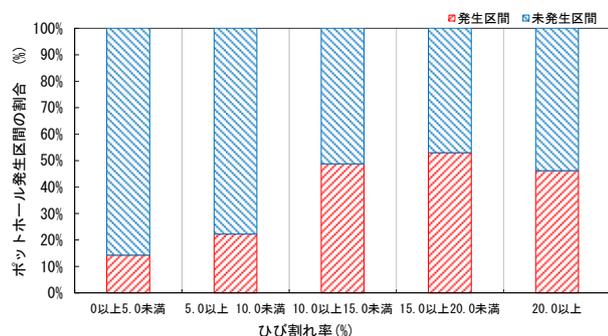


図-18 ポットホール発生率とひび割れ率の関係

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-19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-19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-20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下式のとおり設定した。

$$\text{車線km当りのポットホール発生個数} = 0.1677X + 1.0531 \quad (1)$$

ここで、X: 路線の平均ひび割れ率 (%)

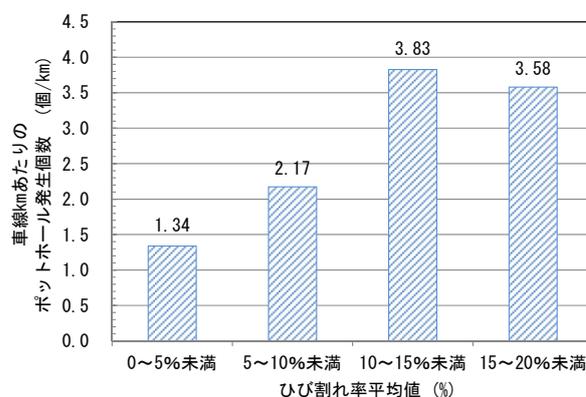


図-19 ひび割れ率と車線 km 当りの発生個数

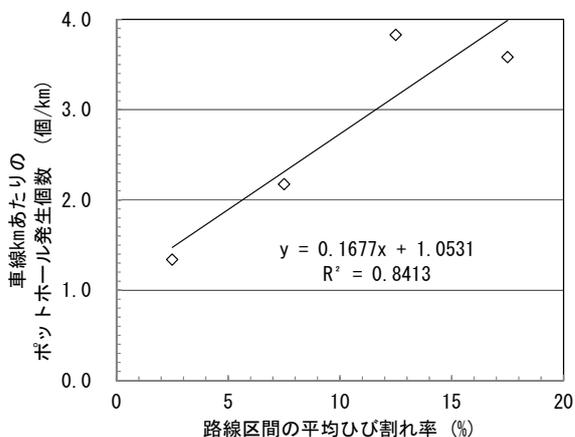


図-20 ひび割れ率と車線 km 当りの発生個数の回帰分析

###### (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-21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ひび割れ率の推移パフォーマンスカーブとし、式(2)のように設定した。

$$\text{平均ひび割れ率} = 0.4536X - 3.4805 \quad (2)$$

ここで、X: 予測したい平成年度 (年)

次に、式(1)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-22 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。

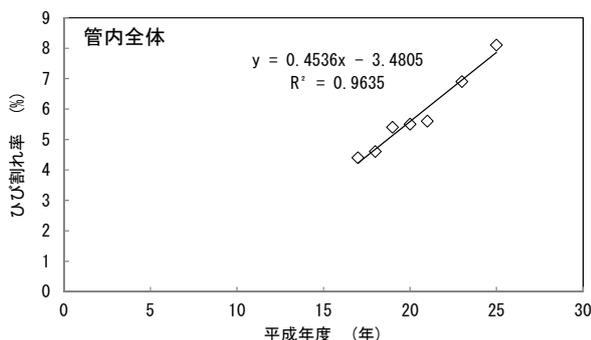


図-21 ひび割れ率推移の実態と予測式

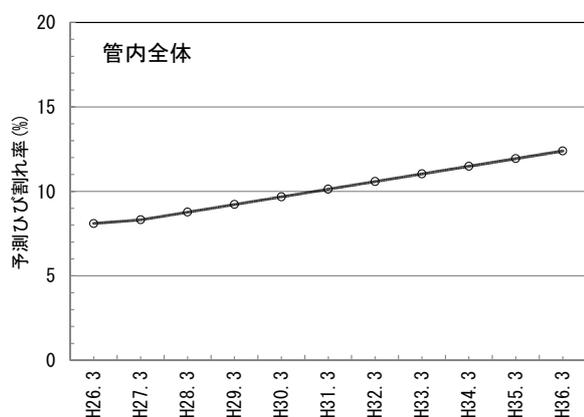


図-22 ひび割れ率平均値の将来推移

### (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(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(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-23 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。

以上のように、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、補修の手間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。今後、これら対策の中長期的な効果について調査検討を進める予定である。

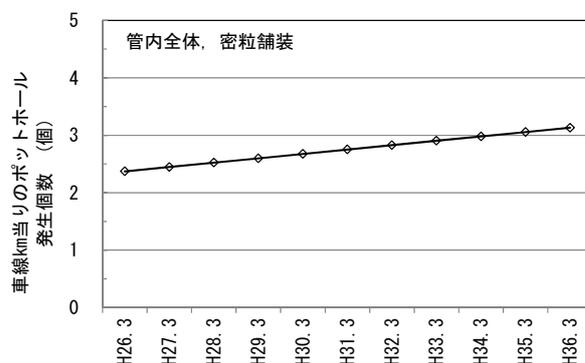


図-23 車線 km 当りのポットホール発生箇所数の将来推移

## 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発に関して、

- (1) 融雪水や凍結融解作用など厳しい環境条件で使用され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。

融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案に関して、

- (2) 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。

融雪水を考慮した舗装の対策手法の中長期的影響・効果の予測に関して、

- (3) 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、ポットホールが発生量が今後 10 年間で 30%程度増加すると予想されることを把握した。

#### 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) 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
- 8) 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** : Cold-Region Maintenance

Engineering Research Group

(Road Maintenance)

**Author** : Kimura Takashi

Maruyama Kimio

Abe Ryuuji

**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. In FY 2014, we proposed a laboratory test method for evaluating the performance of pothole repair materials that would be used under harsh environmental conditions such as those of snowmelt exposure and freeze-thaw cycles. We studied how incorporating geosynthetics into pavements affects the pavement's mechanisms of waterproofing and drainage, because geosynthetics have been regarded as useful for promoting snowmelt drainage. Using historical road data of Hokkaido, we developed methods for forecasting the cracking occurrence rate and the pothole occurrence rate during the snowmelt season. With these methods, we predicted the occurrences of cracking and potholes in Hokkaido. It is predicted that the pothole occurrence rate will rise in the near future.

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