

ポットホール補修材料の性能評価方法 に関する一検討

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○丸山 記美雄
(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 安倍 隆二
(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 木村 孝司

本研究は、融雪期に発生するポットホールの応急補修に用いる各種混合物の性能評価方法を検討したものである。まず、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、それら性能を試験室レベルおよび実道レベルで評価する方法を検討した。その結果、積雪寒冷地の融雪期に用いる補修材料の性能評価方法に関して幾つかの知見が得られた。さらに、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が高いことや、加熱混合物を使用することが有効であることなど、各補修用混合物の特徴を把握できた。

キーワード：ポットホール、融雪期、凍結融解、補修、常温混合物

1. 本研究の背景と目的

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おり、その応急補修および発生防止対策が課題となっている。このため筆者らは、融雪水や凍結融解など積雪寒冷地特有の環境条件を踏まえたポットホールの発生要因やメカニズムの一端を明らかにし¹⁾、これを踏まえた適切な補修対策や予防保全対策の研究を進めているところである。

ポットホールの応急補修に用いる材料に要求される性能および、それを評価する試験方法については、既往の文献において示されたものがいくつか存在する。例えば、舗装調査・試験法便覧などでは、一軸圧縮試験や引張接着強度試験などが示されている²⁾³⁾。また、本州の排水性舗装に発生するポットホール用補修材料として、東京都や首都高速における要求性能と評価方法が提示されている⁴⁾⁵⁾。耐久性の高い補修材料の性能と評価方法が示されており参考になるが、いずれの報告も一般的な地域での施工や耐久性を前提としたもので、積雪寒冷地の融雪期にみられる融雪水の流入や寒冷や凍結融解といった条件は考慮されていない。一方で、積雪寒冷地の条件を意識した成果として、近畿地方の山間部の積雪寒冷地を対象とした近畿地方整備局による研究報告⁶⁾がある。融雪散水やタイヤチェーンの影響を考慮したもので参考になるが、寒冷の度合いや凍結融解の繰り返し作用などが更に厳しい北海道地域向けには、試験項目や試験条件などが不十分と考えられた。

つまり、北海道地域のような寒冷条件が厳しく降雪量も多い地域の融雪期に発生するポットホールを補修する際の性能を評価する方法としては、既存の方法のみでは必ずしも十分でなく、改善すべき点があると指摘できる。

そこで、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ことを目的として、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、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。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。その結果、いくつかの知見を得ることができたので、以下に報告するものである。

2. 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おり¹⁾、本研究が対象とするのは、それらポットホール用の補修材料である。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かつ不良な中で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。このような過酷条件下では、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、施工性や耐久性が高い補修材料が望まれる。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検討と、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を検討した。

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、通過車両のタイヤ载荷に対する安定性を有すること。

3. 試験室レベルでの性能評価

前章表-1で示した要求性能を評価・確認するための室内試験方法を検討する目的で、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。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る。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。なお、試験条件は表-2にも整理してある。

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

(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の比から、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。

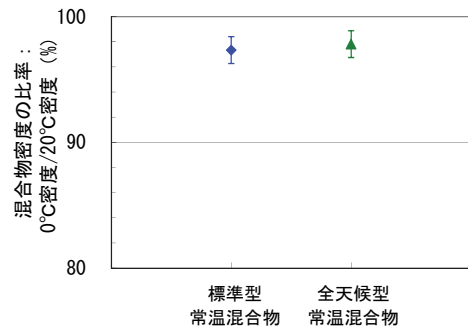


図-1 低温時の作業性 (締固め易さ等) 試験結果

(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°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、所定の期間気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ブ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、カンタブ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-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。

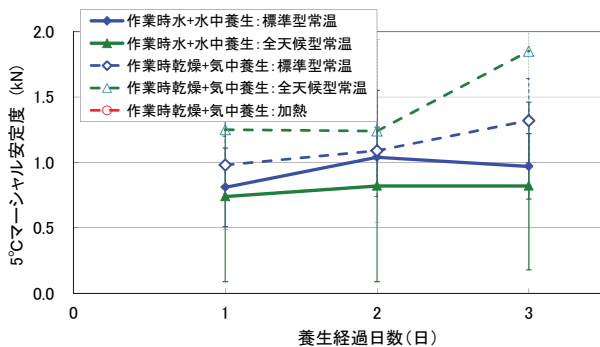


図-2 作業時の水によるマーシャル安定度への影響

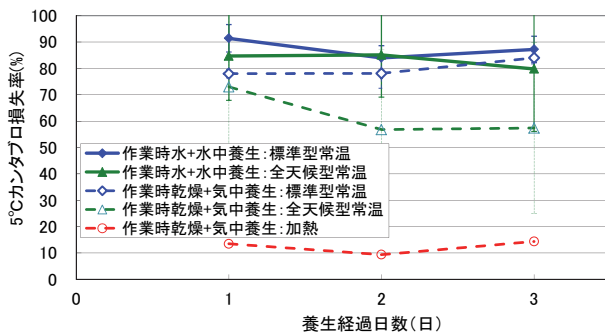


図-3 作業時の水によるカンタブロ損失率への影響

(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でカンタブ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ブロ損失率測定結果を図-4に、気中養生後のカンタブ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ブ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。

水浸により、全天候型のカンタブ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ブロ損失率は大きい値のままである。

加熱混合物は、乾燥時のカンタブロ損失率、水中養生後のカンタブ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。

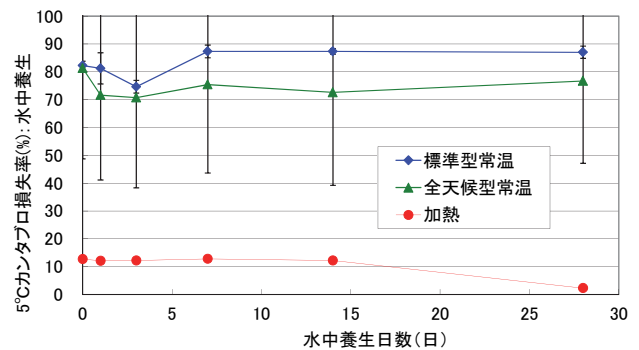


図-4 水中養生した後のカンタブロ損失率測定結果

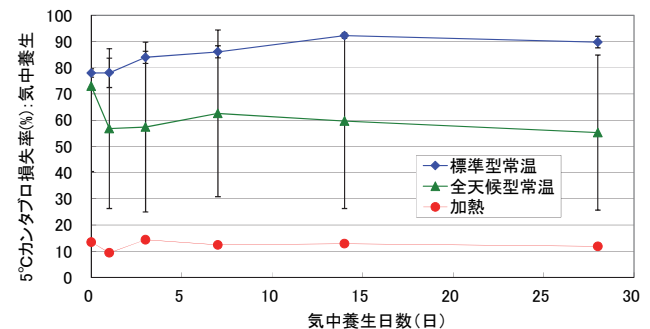


図-5 気中養生した後のカンタブロ損失率測定結果

(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でカンタブロ試験を実施した。

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ブ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ブ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。全天候型常温混合物のカンタブロ損失率は標準型常温混合物に比べて小さく、凍結融解作用を受ける条件下においても飛散抵抗性が高いことが分かる。また、加熱混合物は、凍結融解作用を受けた後でもカンタブロ損失率は全天候型常温混合物よりも低く、良い性能を示している。

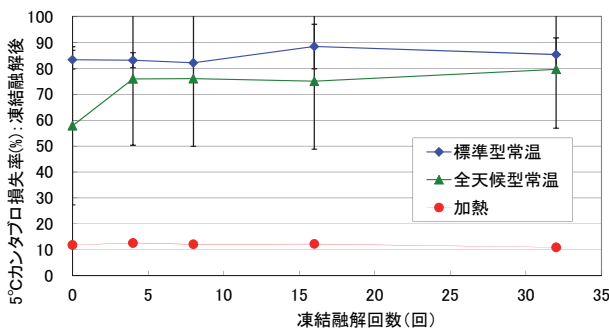


図-6 凍結融解作用による性能への影響試験結果

(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マージナル供試体作成後、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、マージナ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-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が、温度が-15°Cの場合には標準型常温混合物のカンタプロ損失率が非常に小さくなる点が注目される。

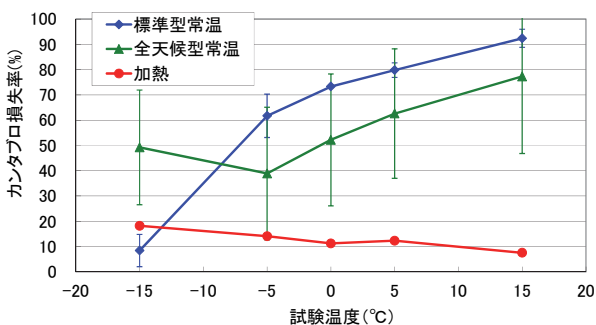


図-7 様々な温度での混合物性能の変化試験結果

(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。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。

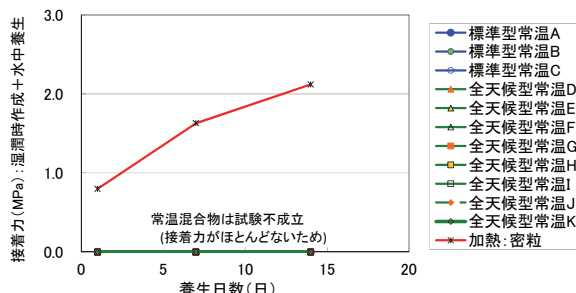


図-8 水分の存在による接着力への影響試験結果

(6) 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。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。

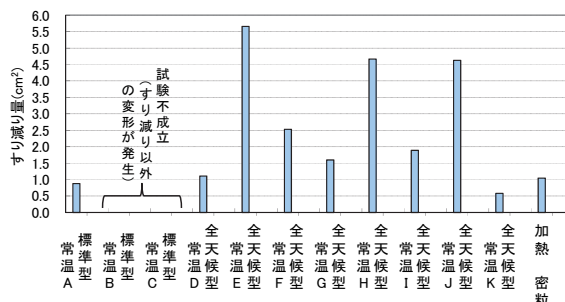


図-9 耐摩耗性や骨材飛散抵抗性試験結果

(7) 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。

(8) 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ブ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て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ブ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ることが読み取れる。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カンタブ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ブ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. 実物大試験道路での耐久性評価

(1) 調査方法

当研究所が所有する全長2.7kmの実物大周回路である苫小牧寒地試験道路の直線区間において、融雪期の3月にカッターや電動ピックを使用して大きさ、端部形状、既設舗装の安定性を変えた全20種類のパターンの擬似ポットホールを人為的に作成し、標準的な常温混合物1種類と、全天候型の常温混合物1種類を使用して穴に水が満ちた状態で常温混合物を投入し、プレートで転圧、補修した。路面に散水して常に湿潤状態にしておき、水の影響を受けた状態で大型車(10t満載ダンプトラック)と中型車を交互に繰り返し走行させて耐久性を比較した。合計の走行台数が200台になるまで載荷を行った。

(2) 調査結果

20種類の疑似ポットホールを常温混合物で埋めて試験を行ったが、大半の箇所ではほぼ健全な状態を保った。標準型常温混合物と全天候型常温混合物とで差が出た箇所の結果を図-10に示す。標準的な常温混合物は20%程度の面積で欠損を生じている(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。なお、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予定である。

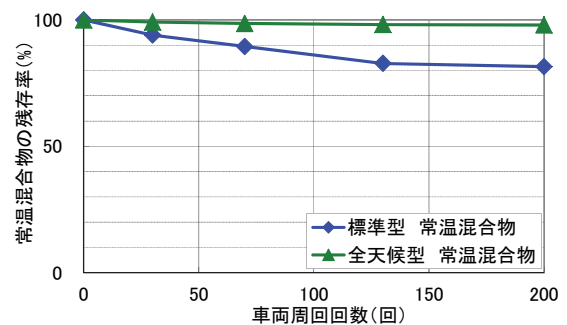


図-10 実物大試験道路での耐久性評価

5. 供用中の道路における耐久性評価

2章の表-1で示した要求性能を評価・確認するための実道レベルでの評価方法の一つとして、供用中の道路で融雪期の2月と3月に、実際に発生したポットホールを混合物で補修し、耐久性を追跡調査する方法について検討を試みた。この方法は、表-1に示した項目を一括した耐久性を評価するものと位置づけられる。

(1) 供用中の道路における耐久性評価方法

供用中の道路において、実際の道路維持作業で使用される任意の全天候型常温混合物を用いて融雪期の2月と3月に発生したポットホールを補修し、補修後から約1ヶ月までの期間における残存状況を数日おきに目視により調査した。残存状況の判断は、補修した全数のうち、穴が再発して手直しが必要な状態になったものの個数や手直しが実施された個数の割合を判定するものであり、再発や手直しがなく健全に残っているものの個数割合を残存率と定義した。

調査は、北海道開発局と北海道庁建設管理部による調査（追跡対象としたポットホールは全道69個）と、寒地土研による札幌近郊における耐久性詳細調査（追跡対象としたポットホールは、国道230号で100個、国道275号で20個、国道453号で18個、市道宮の森北24条通で26個）である。市道宮の森北24条通での寒地土研による耐久性詳細調査は、加熱混合物での補修箇所の耐久性を調査したものである。それ以外はすべて、全天候型の常温混合物での補修箇所である。

なお、供用中の道路での検証なので、個々のポットホール補修箇所の環境条件や交通条件は同じにはならない。そのため、厳密な意味での比較評価はできないが、寒地土研による札幌近郊での調査は同一の地域内の路線で2週間程度の短期間に補修を実施して追跡を行うことで、現場条件を極力似たものにするよう留意した。

(2) 供用中の道路における耐久性評価結果

北海道開発局、北海道庁建設管理部および寒地土研による全天候型常温混合物の残存率調査結果を図-11に示す。補修後一週間程度までは残存率90%以上と大半が残存しているが、約1ヶ月経過後になると40~70%程度まで残存率が低下している。

全天候型常温混合物は、前述した室内試験および実物大試験道路での調査結果が示すように、標準型常温混合物よりも高い耐久性を有すると考えられるが、過酷な環境に曝されるために、実道での平均的な残存率は40~70%程度になると理解するのが妥当である。材料面や施工面のアプローチにより、残存率を高める努力が今後必要と考えられる。ちなみに、標準的な常温混合物の残存率に関しては今回データを取っていない。それは、維持業者の経験から、融雪期に標準型常温混合物を施工した場合は数日の内に大半が飛散し使用に耐えないとの見解があったためである。

次に、加熱混合物の残存率調査結果を図-12に示す。加熱混合物を用いた場合の残存率は、1ヶ月経過後で約80%となっており、全天候型常温混合物と同程度もしくは若干高い値となっている。室内試験での結果からも示されるように、加熱混合物の性能は常温混合物よりも高いと考えられるため、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あるかと指摘できる。

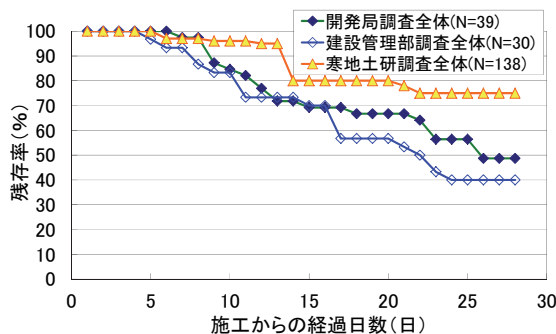


図-11 全天候型常温混合物の残存率

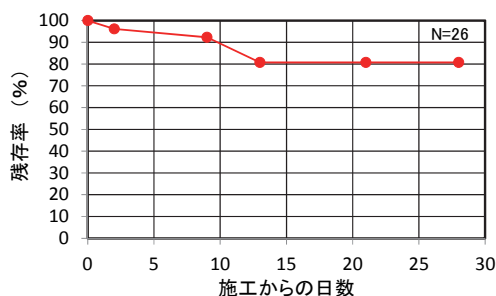


図-12 加熱混合物の残存率

6. まとめ

本研究から得られた成果は以下の様にまとめられる。

(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

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。

(2) 実道レベルでの評価方法について

実道レベルでの耐久性評価は、試験道路と供用中の道路で行った。試験道路においては、全天候型常温混合物の耐久性が標準型常温混合物よりも優れていることが確認できた。供用中の道路では、全天候型の残存率は一か月经過後に40~70%程度まで低下する状況が確認された。耐久性評価方法としては、一定の結果が得られるものと判断しているが、今後も試験方法の改善を進める余地がある。

(3) ポットホール補修への常温混合物の使用について

試験室レベルおよび実道レベルいずれの評価試験においても、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、全天候型が妥当と考える。

(4) ポットホール補修への加熱混合物の使用について

試験室レベルおよび実道レベルいずれの評価試験においても、加熱混合物は全天候型常温混合物と同程度かそれ以上の性能と耐久性を示し、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。融雪期は大半のアスファルト合材プラントが稼働休止しているため加熱混合物の入手に制約がつくが、加熱混合物が入手できる状況であれば、加熱混合物の使用を検討することが勧められる。

謝辞：本研究は、産学官の委員ならびに事務局により構成され筆者らも参画した「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する検討委員会」における検討の一部である。検討を進めるにあたり、委員各位ならびに事務局の皆様には多大なるご協力をいただいた。また、実道調査では北海道開発局、札幌開発建設部、北海道庁、札幌市役所の皆様方にも多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 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
- 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第3分冊、pp.417-436、2007
- 竹田敏憲：応急修理工法に使用する各種常温混合物の材料特性と供用実態について、ASPHALT vol.28, No.146、1986
- 都土木センター年報：低騒音舗装の破損実態と補修用常温混合物の室内評価法の検討、2007
- 永田佳文、田中大介：首都高速道路における緊急補修材料の試験施工、舗装第47巻2月号、pp.7-12、2012
- 藤岡芳征：積雪寒冷地における舗装の耐久性向と補修に関する研究、平成22年度近畿地方整備局研究発表会論文集、2010