

変形追従性の高い特殊改質アスファルト混合物 のひび割れ抑制効果に関する現場実証 —一般国道44号および一般国道276号における試験施工—

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○松本 第佑
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 上野 千草
国立研究開発法人 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

切削オーバーレイ工法による舗装補修では、補修後既設舗装のひび割れ残存位置から再びひび割れが発生することがある。変形追従性の高い特殊改質アスファルト混合物を表層に用いることでひび割れの発生を遅延させる工法が開発されているが、積雪寒冷地における適用事例は少ない。本検討では、変形追従性の高い特殊改質アスファルト混合物を表層に用いた試験施工を行うとともに、室内試験を実施し積雪寒冷地での適用性を検証した。

キーワード：積雪寒冷地、舗装補修、切削オーバーレイ工法、特殊改質アスファルト混合物

1. はじめに

アスファルト舗装のひび割れには、交通荷重の繰り返し荷重によって主に縦断方向に発生する疲労ひび割れや、温度収縮によって横断方向に発生する低温ひび割れなど、発生要因と発生形態が多岐に亘る¹⁾。例えば疲労ひび割れは、写真-1に示すように、車輪走行位置に沿って縦断方向に線状のひび割れが発生し、損傷が進むと亀甲状にひび割れが進行する。

このようにアスファルト舗装路面にひび割れが顕著に現れている状態は、ひび割れが表層のみならず基層以深に達し、アスファルト混合物層を貫通している場合も考えられ、交通荷重や水の影響などによって粒状路盤層以下の支持力低下を引き起こし、ポットホールなどのさらなる損傷が生じる可能性がある。このため、補修の際はアスファルト混合物層または粒状路盤層以下を含む舗装体全層を打ち換えることが望ましい。一方で、膨大な舗装ストックに対して補修費は限られており、既設舗装をできる限り存置活用する補修工法が近年求められている。既設舗装を存置活用する補修方法として、薄層オーバーレイ工法や切削オーバーレイ工法などがあるが、これらの補修工法では、補修後既設舗装に残存しているひび割れ位置から再びひび割れが発生することがある^{2) 3)}。筆者らはこれらの損傷の対策として、切削後の既設路面上にガラス繊維を基材とするひび割れ抑制シートを敷設する方法や、既設舗装にじょく層を設けオーバーレイ補修する方法などを検討している^{4) 5) 6)}。この他に、低温環境下でも交通荷重による変形追従性の高い特殊改質アス

ファルト混合物（以下、特殊改質As混合物とする）を表層に用いることで、交通荷重による応力を緩和させ、既設舗装に発生しているひび割れ位置から再びひび割れが発生することを遅延させる技術が開発されているが、積雪寒冷地における現場での適用事例は少ない。

そこで、特殊改質As混合物を切削オーバーレイ補修時に表層に用いた試験施工を行うとともに、施工時に採取した混合物の室内試験を実施し、特殊改質As混合物の積雪寒冷地における適用性について検証した。

なお本稿は、北海道開発局「積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会」の取組の一環で行っている検討について報告するものである。



写真-1 疲労ひび割れによる損傷事例

2. 試験施工

試験施工は、2022年度に切削オーバーレイ工法による舗装補修が行われた一般国道44号厚岸町および一般国道276号倶知安町で実施した。それぞれの補修箇所の概要を表-1に示す。いずれの試験施工工区も延長を100mとし、表層4cmを切削し、特殊改質As混合物を4cmの厚さで舗装した。なお、使用した特殊改質As混合物は、それぞれの試験施工で異なる舗装会社の混合物を使用している。本稿では、一般国道44号厚岸町で用いた特殊改質As混合物を「特殊改質A」、一般国道276号倶知安町で用いた特殊改質As混合物を「特殊改質B」と呼称する。また、いずれの施工箇所も比較工区として、標準的に表層に用いられる再生密粒度13F混合物（以下、再生混合物とする）を用いて補修した工区を同じく延長100m設定し、供用後の路面性状を追跡調査する。

各試験施工箇所における補修前の試験施工工区および比較工区のひび割れ率およびわだち掘れ量、平坦性の測定結果を表-2に示す。表-2より、一般国道44号厚岸町では、試験施工工区および比較工区ともに舗装点検要領⁷⁾におけるひび割れ率の診断区分でⅡに該当する。一方、一般国道276号倶知安町では、試験施工工区および比較工区ともに舗装点検要領におけるひび割れ率の診断区分でⅢに該当する。各試験施工工区の切削後の路面状況をそれぞれ写真-2、写真-3に示す。これらより、切削後の基層上面において、一般国道44号厚岸町では疲労ひび割れと考えられる縦断方向のひび割れなどが残存しており、一般国道276号倶知安町では横断方向のひび割れなど多数のひび割れが残存していた。

(1) 一般国道44号厚岸町

令和3年度全国道路・街路交通情勢調査（交通センサス）の結果より、補修を行った箇所の交通量区分はN₅相当で、大型車交通量（上下合計）は1,403台/日である。表層に用いた特殊改質Aの配合設定値およびアスファルトの性状試験結果を表-3に、比較工区に使用した再生混合物（以下、再生混合物Aとする）の配合設定値およびアスファルトの性状試験結果を表-4に示す。また、施工後の路面状況を写真-4に示す。表-3、表-4より、表層に使用した特殊改質Aおよび再生混合物Aの配合設定値はいずれも同程度である。一方で、再生混合物Aと比較して、特殊改質Aに使用した特殊改質アスファルトの軟化点が高く、わだち掘れ抵抗性が期待できる。また、針入度も再生混合物Aと比較して高く、軟質なアスファルトである。

施工時の天候は晴れ、目標敷均し温度155℃～165℃に対して、敷均し温度は約160℃と目標値を満足した。比較工区の再生混合物Aの敷均し温度が150℃程度であったのに対して、特殊改質Aの敷均し温度は所定の締固め度を確保するためやや高い温度となっている。

MATSUMOTO Daisuke, UENO Chigusa, MARUYAMA Kimio

表-1 試験施工箇所の概要

補修日時	施工箇所			表層混合物
	地名	工区	KP	
2022年7月	国道44号厚岸町	試験施工工区	KP=25.97～26.07	特殊改質As混合物A
		比較工区	KP=25.55～25.65	再生混合物A
2022年10月	国道276号倶知安町	試験施工工区	KP=29.90～30.00	特殊改質As混合物B
		比較工区	KP=29.80～29.90	再生混合物B

表-2 補修前の路面性状測定値

施工箇所		ひび割れ率 (%)	わだち掘れ量 (mm)	平坦性σ OWP部 (mm)
地名	工区			
国道44号厚岸町	試験施工工区	26.8	15	2.09
	比較工区	28.7	17	3.13
国道276号倶知安町	試験施工工区	49.8	11	2.99
	比較工区	51.2	13	2.95



写真-2 一般国道44号厚岸町の切削後の路面状況



写真-3 一般国道276号倶知安町の切削後の路面状況

(2) 一般国道276号倶知安町

令和3年度全国道路・街路交通情勢調査（交通センサス）の結果より、補修を行った路線の交通量区分はN₅相当で、大型車交通量（上下合計）は693台/日である。表層に用いた特殊改質Bの配合設定値およびアスファルト

表-3 特殊改質 A の配合設定値およびアスファルトの性状試験結果

混合物配合率 (%)							
改質As	6号碎石	7号碎石	粗目砂	石粉	計		
5.8	36.7	12.6	35	9.9	100.0		
As量 (%)	実際密度 (g/cm ³)	理論密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	骨材間隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
5.8	2.389	2.476	3.5	17.0	79.4	9.43	30
アスファルトの性状試験結果							
密度 (15°C) (g/cm ³)	軟化点 (°C)	針入度 (25°C) (1/10mm)	引火点 (°C)				
1.027	95.5	134.0	326				

表-5 特殊改質 B の配合設定値およびアスファルトの性状試験結果

混合物配合率 (%)							
改質As	6号碎石	7号碎石	粗目砂	石粉	計		
5.7	35.8	21.7	30.2	6.6	100.0		
As量 (%)	かさ密度 (g/cm ³)	理論密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	骨材間隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
5.7	2.387	2.481	3.8	17.0	77.6	14.5	28
アスファルトの性状試験結果							
密度 (15°C) (g/cm ³)	軟化点 (°C)	針入度 (25°C) (1/10mm)	引火点 (°C)				
1.031	87.0	92.0	340				



写真-4 一般国道 44 号厚岸町の施工後の路面状況

トの性状試験結果を表-5に、比較工区に使用した再生混合物（以下、再生混合物Bとする）の配合設定値およびアスファルトの性状試験結果を表-6に示す。また、施工後の路面状況を写真-5に示す。表-5、表-6より、表層に使用した特殊改質Bおよび再生混合物Bの配合設定値はいずれも同程度である。一方で、再生混合物Bと比較して、特殊改質Bに使用した特殊改質アスファルトの軟化点が高く、わだち掘れ抵抗性が期待できる。また、針入度は再生混合物Bと同程度であるが、ポリマー改質アスファルトの品質規格⁸⁾は40以上であり、改質アスファルトとしては高い値である。

施工時の天候は晴れ、目標敷均し温度170±3°Cに対して、敷均し温度は170°C程度と目標値を満足していた。比較工区の再生混合物Bの敷均し温度が150°C程度であったのに対して、特殊改質Aと同様に特殊改質Bの敷均

MATSUMOTO Daisuke, UENO Chigusa, MARUYAMA Kimio

表-4 再生混合物 A の配合設定値およびアスファルトの性状試験結果

混合物配合率 (%)							
As	粗骨材		細骨材		再生骨材	石粉	計
	6号碎石	7号碎石	細砂	砕砂			
6.0	34.7	6.4	26.9	-	18.8	7.2	100.0
As量 (%)	実際密度 (g/cm ³)	理論密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	骨材間隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
6.0	2.388	2.474	3.5	17.3	79.8	10.21	32
アスファルトの性状試験結果							
密度 (15°C) (g/cm ³)	軟化点 (°C)	針入度 (25°C) (1/10mm)	引火点 (°C)				
1.040	43.5	88.0	337				

表-6 再生混合物 B の配合設定値およびアスファルトの性状試験結果

混合物配合率 (%)							
As	粗骨材		細骨材		再生骨材	石粉	計
	6号碎石	7号碎石	細砂	砕砂			
6.1	10.3	28.2	10.3	10.3	28.2	6.6	100.0
As量 (%)	実際密度 (g/cm ³)	理論密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	骨材間隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
6.1	2.379	2.467	3.6	17.6	79.4	11.66	27
アスファルトの性状試験結果							
密度 (15°C) (g/cm ³)	軟化点 (°C)	針入度 (25°C) (1/10mm)	引火点 (°C)				
1.046	47.2	90.0	303以上				



写真-5 一般国道 276 号倶知安町の施工後の路面状況

し温度も所定の締固め度を確保するためやや高い温度となっている。

3. 室内試験

それぞれの試験施工工区で表層に使用した特殊改質Aおよび特殊改質Bと、比較工区に使用した再生混合物Aおよび再生混合物Bを現地に採取し、混合物性状に関する室内試験を行った。室内試験は、積雪寒冷地における低温環境下でのたわみ性と、高温域におけるわだち掘れ抵抗性から特殊改質As混合物の変形追従性を評価することを目的に、低温域における曲げ試験と、ホイールトラッキング試験を実施した。それぞれ舗装調査・試験法便覧⁹⁾における「B005 曲げ試験方法」および「B003 ホイールトラッキング試験方法」に則り実施した。

(1) 曲げ試験

a) 試験概要

それぞれの試験施工箇所における直近20年間（2003年から2022年）の最低気温の平均値をアメダスデータより算出すると、一般国道44号厚岸町では-17.7℃、一般国道276号倶知安町では-19.6℃であった。そのため、試験温度は-20℃から10℃刻みで、3条件（-20℃、-10℃、0℃）とし、低温域におけるたわみ性を評価した。試験本数はそれぞれの混合物に対し、各温度で3本ずつとした。

b) 試験結果

採取した特殊改質As混合物および再生混合物の曲げ試験結果として、破断時の曲げ強度および破断時の曲げひずみを比較した結果をそれぞれ図-1、図-2に示す。

図-1より、破断時の曲げ強度は特殊改質Aおよび特殊改質Bともに-10℃付近をピークとする推移を示し、0℃以下の低温域では再生混合物AおよびBよりも高い値で推移した。特に、試験施工箇所の最低気温に近い-20℃の破断時の曲げ強度では、特殊改質Aおよび特殊改質Bともに再生混合物よりも1.5倍程度の値であり、-10℃では2倍程度の値であった。また図-2より、破断時の曲げひずみにおいても、特殊改質Aおよび特殊改質Bともに再生混合物AおよびBよりも高く推移した。

また、アスファルト混合物が曲げ破断するまでに必要なエネルギーである曲げ仕事量と、曲げスティフネスを荷重-変位グラフより算出した。曲げ仕事量および曲げスティフネスの概念図を図-3に示す。曲げ仕事量は、荷重-変位グラフにおいて供試体に荷重が載荷されてから破断するまでの面積に相当し、曲げスティフネスは、荷重-変位グラフにおいて荷重が載荷されてから弾性状を示す直線部分の傾きに相当する。室内試験結果より算出した曲げ仕事量を特殊改質As混合物と再生混合物で比較した結果を図-4に、算出した曲げ仕事量と曲げスティフネスの結果を図-5に示す。

図-4より、再生混合物の曲げ仕事量は低温域の温度に関わらず大きく変化しなかった一方で、特殊改質As混合物の曲げ仕事量は再生混合物よりも大きい推移を示し、温度の上昇に伴い曲げ仕事量が増える傾向を示した。また図-5の結果において、再生混合物は曲げスティフネスが温度によって変化しても、曲げ仕事量の変化は小さかった一方で、特殊改質As混合物は温度の上昇に伴い曲げスティフネスが小さくなるにつれ、曲げ仕事量が増加する傾向を示した。これらのことから、特殊改質Aおよび特殊改質Bは、低温域において曲げ破断するまでに必要なエネルギーおよび曲げスティフネスが再生混合物よりも大きいことから、再生混合物よりも低温域において粘弾性状を有し、曲げ破断に対する抵抗性が高いことがわかる。

以上のことから、試験施工で表層に使用した特殊改質As混合物は、再生混合物よりも低温域におけるたわみ性が高く、曲げ破断しにくいことが期待できる。

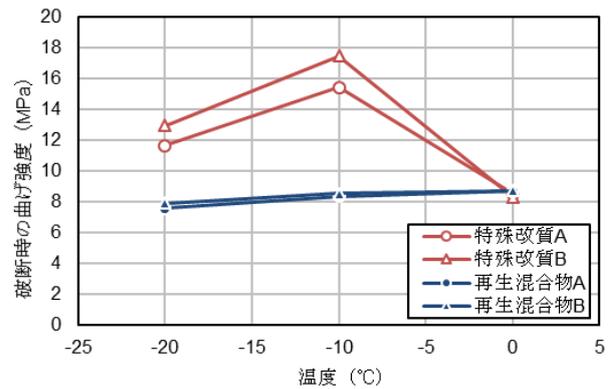


図-1 破断時の曲げ強度の比較結果

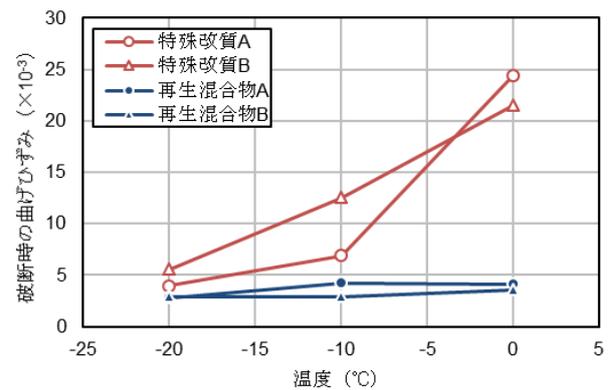


図-2 破断時の曲げひずみの比較結果

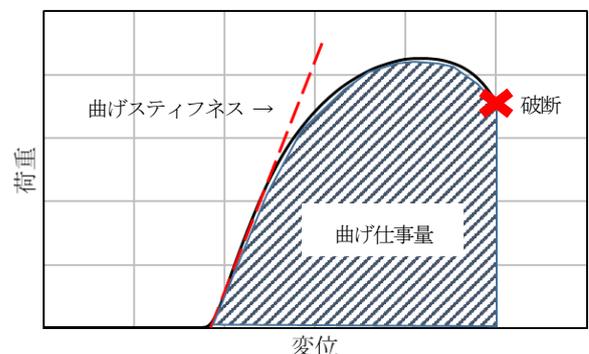


図-3 曲げ仕事量および曲げスティフネスの概念図

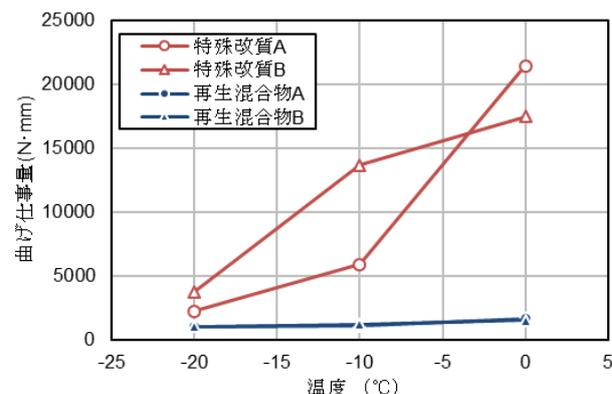


図-4 曲げ仕事量の比較結果

(2) ホイールトラッキング試験

a) 試験概要

実施したホイールトラッキング試験では、高温域におけるアスファルト混合物のわだち掘れ抵抗性を評価する目的のため、試験温度を60℃とした。供試体の数はそれぞれの混合物に対し、3枚とした。

b) 試験結果

採取した特殊改質As混合物および再生混合物のホイールトラッキング試験結果として、動的安定度 (DS) を比較した結果を図-6に示す。図-6には、各混合物供試体の平均締め固め度を併記している。

図-6より、再生混合物AおよびBのDSが1600回/mm程度であったのに対して、特殊改質Aは約9400回/mm、特殊改質Bは約16000回/mmと再生混合物よりも高い結果であった。このことから、特殊改質As混合物は再生混合物よりも高いわだち掘れ抵抗性を有するといえる。

4. まとめ

本稿では、特殊改質As混合物を切削オーバーレイ補修時に表層に用いた現場実証を行うと共に、施工時に採取した混合物による室内試験を実施し、特殊改質As混合物の積雪寒冷地における適用性について検証することを目的に検討を行った。

本検討で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) 曲げ試験結果から、特殊改質Aおよび特殊改質Bのいずれも低温域において、再生混合物Aおよび再生混合物Bよりもたわみ性が高く、曲げ破断しにくいことが期待できる。
 - (2) ホイールトラッキング試験結果から、特殊改質Aおよび特殊改質Bのいずれも、再生混合物Aおよび再生混合物Bよりも高い動的安定度 (DS) を示したことから、高いわだち掘れ抵抗性を有していることが確認された。
- 以上より、本試験施工で使用した特殊改質As混合物は、低温域におけるたわみ性および高温域におけるわだち掘れ抵抗性を有することから、環境条件の厳しい積雪寒冷地において表層への適用が期待できる。施工からの供用年数が短いことから、路面性状を追跡調査し、長期的な観点から表層に特殊改質As混合物を用いる適用性を引き続き検討していく予定である。

謝辞：本現場実証は、北海道開発局「積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会」の取組の一環で行われたものであり、本稿の作成にあたり関係各位からのデータの提供および多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装の維持修繕ガイドブック2013, 2013.

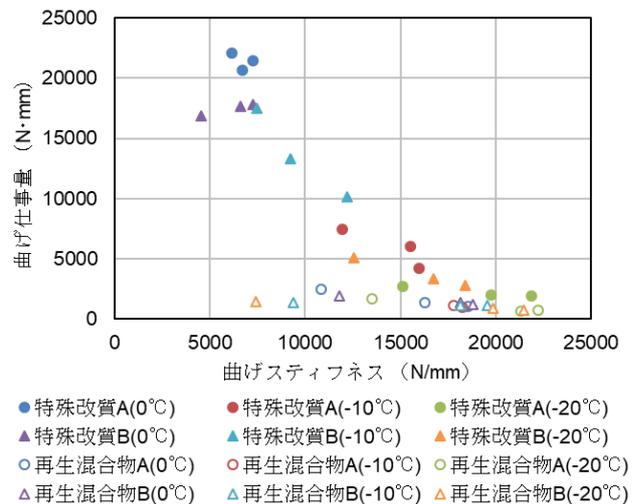


図-5 曲げ仕事量と曲げスティフネスの結果

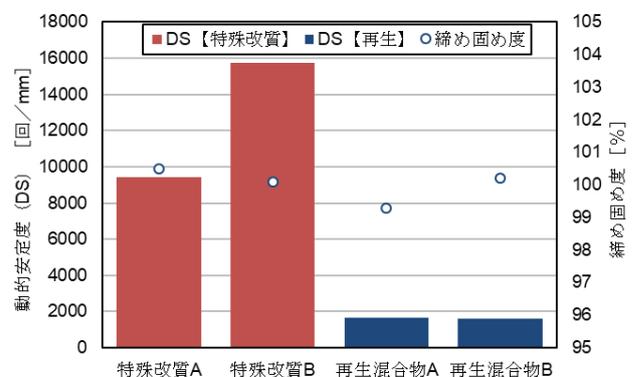


図-6 動的安定度 (DS) の比較結果

- 2) 阿部長門, 前原弘宣, 丸山暉彦：応力緩和層を用いたリフレクションクラック抑制効果に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第3巻, pp.119-128, 1998.12
- 3) 西川隆晴, 西形達明, 原富男：不織布を用いたリフレクションクラック抑制工法に関する実験的研究, 土木学会舗装工学論文集, 第6巻, pp.202-208, 2001.12
- 4) 丸山記美雄, 星卓見, 木村孝司：ひび割れ抑制シートの効果と適用方法に関する検討, 第60回 (平成28年度) 北海道開発技術研究発表会, 2016.2
- 5) 松本第佑, 丸山記美雄：変形追従性の高いAs混合物を表層に用いた舗装の低温クラック再発に関する長期追跡調査, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, 2023.9
- 6) 松本第佑, 丸山記美雄：基層上面にガラス繊維シートを用いて補修した舗装の長期供用性, 第35回日本道路会議, 2023.11
- 7) 国土交通省：舗装点検要領, pp.9, 2016.
- 8) 一般社団法人 日本改質アスファルト協会：ポリマー改質アスファルトポケットガイド, 2020.
- 9) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 (平成31年版), 2019.