

理論的手法による構造的な破壊状態にある舗装の更新技術の研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令3～令5
担当チーム：寒地道路保全チーム
研究担当者：丸山記美雄、上野千草、
松本第佑

【要旨】

構築後40年以上が経過し構造的な破壊状態にある舗装に対して、予算制約のある中で効率的に補修および更新する技術が求められる。本研究では、構造的な破壊状態にある舗装を従前よりも高耐久で長寿命な舗装へ補修および更新する技術を開発することを目的とした。ひび割れ抑制シートや変形追従性の高い特殊改質アスファルト混合物による補修方法を検証した結果、積雪寒冷地における適用性および高い延命効果が期待できることを示した。また、混合物層最下層に疲労ひび割れ抵抗性の高い混合物を用いた舗装構造や断熱工法を用いた舗装構造への更新技術を検証した結果、疲労ひび割れや凍上・凍結融解による損傷に対し有効となる結果を得た。

キーワード：積雪寒冷地、ひび割れ抑制シート、断熱工法、長寿命舗装、長期供用性状

1. はじめに

舗装のストック量は図-1.1.1に示すように高度経済成長期以降年々増え続けているのに対し、厳しい予算制約等の中、舗装の新設費のみならず補修費も抑制傾向にある。特に、舗装の構築後40年以上を経過している道路延長が増加しており、効果的な補修・更新技術が求められている。今後、舗装の老朽化の進展と予算制約の中、舗装の損傷が著しい積雪寒冷環境下では、今ある舗装資産を有効に活用する補修・補強方法などが求められる。

以上のような社会的背景を踏まえ、本研究では、長期供用に伴い発生するボトムアップ型疲労ひび割れなどの損傷や、積雪寒冷地特有の舗装損傷である凍上ひび割れや凍結融解作用によるひび割れ、沈下などの損傷で構造的な破壊状態にある舗装体に対して、理論的な設計手法や新材料を用いて、従前よりも高耐久で長寿命かつ経済的な舗装への補修方法および更新技術を開発することを目的としている。本研究では以下の通り大別して2種類4項目について検討を行った。

構造的な破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法の1つ目として、補修系材料による補修方法を検討した。具体的には、表層を切削した基層表面上にひび割れ抑制シートを敷設し、既設舗装に残存しているひび割れを起因とする下層からのひび割れを抑制する技術について実道における試験施工により検討を行った。2つ目に、高性能材料による補修方法を検討した。具体的には、表層切削後のひび割れの残存している舗

装路面に対し、表層に変形追従性の高い特殊改質アスファルト混合物でオーバーレイ補修することで、下層からのひび割れの再発（リフレクションクラック）を抑制する技術について、試験施工および室内試験を行い、積雪寒冷地における適用性について検討した。

構造的な破壊状態にある舗装体を改良更新する新技術の1つ目として、アスファルト混合物層最下層の疲労抵抗性向上策を検討した。具体的には、ボトムアップ型疲労ひび割れに対してアスファルト混合物層最下層に疲労ひび割れ抵抗性の高い混合物を用いて試験施工を行い、アスファルト混合物層最下層に飽和度が高く密実な混合物を用いた舗装構造の長期供用性を検討した。2つ目に、断熱工法による更新技術を検討した。具体的には、凍上ひび割れや凍結融解作用によるひび割れ、沈下などの損傷に対する既設アスファルト舗装の対策として、非凍上性の材料に置換する工法よりも舗装の掘削深さを抑制でき、コスト縮減や工期短縮が期待される断熱工法について試験施工を行い検討した。

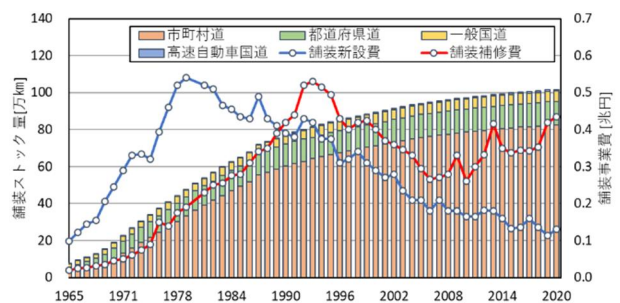


図-1.1.1 舗装のストック量と舗装事業費の推移¹⁾

2. 構造的破壊状態の舗装体を存置活用する補修方法の提案

2.1 補強系材料による補修方法

構造的破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法の1つ目として、ひび割れ抑制シートによるボトムアップ型疲労ひび割れの再発抑制効果を検証する目的で、ひび割れ抑制シートによる補修を行った試験施工区間において、路面性状を追跡調査し、長期供用性について検証した。

2.1.1 試験施工概要

試験施工箇所は、平成19年度に構築した一般国道36号における美々試験道路であり、交通量区分はN₇(3,000台以上/日・方向)である。対象とした舗装断面は、交通量区分N₅(250台以上1,000台未満/日・方向)対応の開発局舗装標準断面(表層4cm、基層5cm、上層路盤6cm)である。本箇所は、平成13年に疲労ひび割れが発生し、平成14年に切削オーバーレイによる補修が行われている。しかし、5年後の平成19年に亀甲状の疲労ひび割れが全区間に亘って発生し、ひび割れ率が26%、わだち掘れ量が16.5mmとなったため、今回の検討対象とするひび割れ抑制シートによる補修工法が行われている。

補修方法の概要を図-2.1.1に示す。一般的に用いられるひび割れ抑制シートとして、不織布を基材としたひび割れ抑制シート(以下、不織布シートとする)やガラス繊維などの強度の高い基材を用いたひび割れ抑制シート(以下、ガラス繊維シートとする)があるが、特にガラス繊維シートは不織布シートよりも引張強度が高く伸び率が小さい基材を用いていることから、疲労ひび割れに対するひび割れ抑制効果が期待される。北海道開発局制定の道路設計要領においても、オーバーレイに伴うクラック処理として、横断クラックや亀甲状クラックに対してはガラス繊維等を基材とした引張強度が高く伸び率が小さいひび割れ抑制シートを使用することが示されており、疲労ひび割れの発生した舗装体に対するガラス繊維シートの適用方法に関する過年度の検討より、切削オーバーレイのみによる補修よりもガラス繊維シートを併用した補修によって、疲労ひび割れの抑制効果を確認している²⁾。本検討においては、ボトムアップ型疲労ひび割れの再発抑制効果を検証するため、ガラス繊維シートを用いて補修を実施している。

施工にあたっては、既設舗装の表層を4cm切削した後、ガラス繊維シートを既設の基層表面上の外側車輪走行位置(OWP部)と内側車輪走行位置(IWP部)に

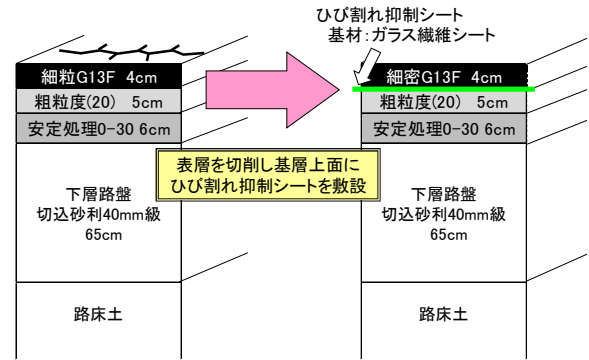


図-2.1.1 補修方法の概要



写真-2.1.1 ひび割れ抑制シート貼付後の状況

1m幅で縦断方向に連続して流し貼りし、表層に新材の細密粒度ギャップアスコン13F55(改質II型)を4cm舗装した。ひび割れ抑制シートの貼付後の状況を写真-2.1.1に示す。シート敷設後から令和4年までの約15年間の結果を報告する。

2.1.2 調査結果

平成14年の切削オーバーレイのみによる補修を行ってからの供用5年間と、平成19年のひび割れ抑制シートを併用して補修を行ってからの供用約15年間のひび割れ率、わだち掘れ量およびOWP部と車輪中央位置(BWP部)の平坦性を舗装調査・試験法便覧³⁾に則って調査を実施した。それぞれの路面性状調査結果を表-2.1.1、表-2.1.2に示す。また図-2.1.2、図-2.1.3、図-2.1.4に、平成14年に切削オーバーレイのみによる補修を行った後、平成19年までの間の各路面性状値(ひび割れ率・わだち掘れ量・OWP部およびBWP部の平坦性)の時系列推移と、平成19年以降のシート敷設後の各路面性状値の時系列推移をそれぞれのグラフに対比して示す。

表-2.1.1、表-2.1.2、図-2.1.2より、ひび割れ率は切削オーバーレイのみによる補修では約4年で12%に達したのに対し、ガラス繊維シートを併用した補修後

表-2.1.1 切削オーバーレイ補修のみによる路面性状調査結果

調査年月	H14.10	H15.10	H16.10	H17.10	H18.10	H19.10	補修 実施
補修後経過年数	0	1	2	3	4	5	
ひびわれ率[%]	0.0	5.4	6.5	—	13.1	26.2	
わだち掘れ量[mm]	—	5.5	9.3	10.8	12.5	16.5	
平坦性 [mm]							
OWP部	—	1.11	1.12	1.90	1.54	2.05	
BWP部	—	1.01	1.08	1.03	1.07	1.05	

表-2.1.2 切削オーバーレイとひび割れ抑制シートを併用した補修による路面性状調査結果

調査年月	H19.11	H20.10	H21.10	H22.10	H23.10	H24.10	H25.10	H26.10	H27.10	H28.10	H29.10	H30.10	R1.10	R2.10	R3.10	R4.10	
シート敷設後経過年数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ひびわれ率[%]	0.0	0.0	1.3	1.3	1.4	2.4	3.2	4.0	7.6	5.4	7.8	—	10.0	10.8	11.5	12.1	
わだち掘れ量[mm]	0.8	2.9	3.7	4.5	5.3	6.2	6.6	7.9	9.5	11.2	12.2	—	14.4	15.7	17.5	19.7	
平坦性 [mm]	OWP部	1.13	1.05	1.21	1.30	1.26	1.34	1.34	1.38	1.27	1.48	1.61	—	2.24	2.44	1.90	2.85
	BWP部	0.99	1.04	0.94	1.21	1.06	1.01	1.09	1.21	1.54	1.53	1.22	—	1.28	1.25	1.26	1.46

約15年が経過してもひび割れ率は12%程度に留まっております。ひび割れの進行は緩やかであった。そのため、シート敷設後15年が経過しても十分供用に耐える状態を維持していると判断される。

また本検討では、実際の交通量がN₇の交通量区分に相当する区間において、N₅相当の舗装断面を構築して検証しており、促進載荷の状態といえる。平成19年から平成22年の美々試験道路における交通量調査結果²⁾では、日当り大型車交通量は平均して1,740台/方向であり、当該区間における平成27年度の全国道路・街路交通情勢調査データでは約1,890台/方向であった。平成19年から供用15年間の日当り大型車交通量を約1,800台/方向とした場合、交通量区分N₅(250台以上1,000台未満/日・方向)の大型車交通量の上限である1,000台/方向と比べると、単純計算で15年×1.8=27年間のひび割れ再発抑制効果を確認できたと考えられ、交通量の観点からもガラス繊維シート工法による高い延命効果を示したと評価できる。

表-2.1.1、表-2.1.2、図-2.1.3より、わだち掘れ量は切削オーバーレイのみによる補修では、供用5年で16mm程度になったのに対して、ひび割れ抑制シートを併用して補修した場合、同じ16mmに達するのに13年程度と長期に亘って良好な路面を維持できた結果であった。

表-2.1.1、表-2.1.2、図-2.1.4より、平坦性はいずれの補修方法においても概ね同程度の推移を示しているが、ひび割れ抑制シートを併用して補修した方がやや長期に良好な平坦性を維持できる結果であった。

2.1.3 結論

以上の結果より、補修時にガラス繊維シートを基層表面上に敷設することで、疲労ひび割れの再発を長期

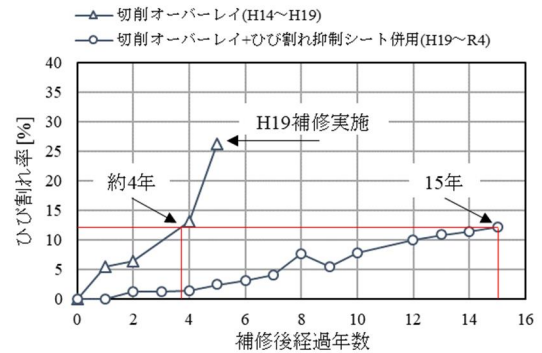


図-2.1.2 ひび割れ率の時系列推移

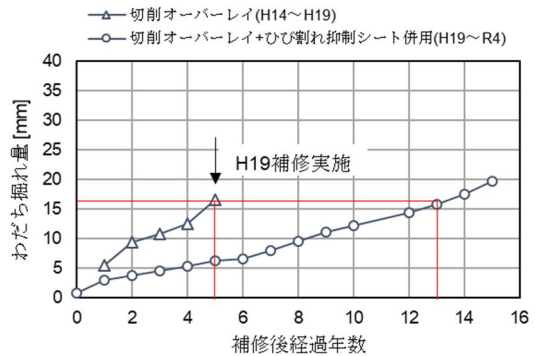


図-2.1.3 わだち掘れ量の時系列推移

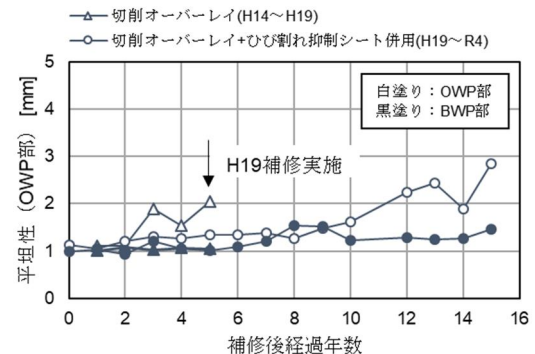


図-2.1.4 OWP部およびBWP部の平坦性の時系列推移

に抑制する高い延命効果を得られることが明らかとなった。そのため、疲労ひび割れが発生した舗装を補修する場合、切削オーバーレイのみによる補修だけでなくガラス繊維などの引張強度が高く伸び率が小さい基材を用いたひび割れ抑制シートを併用することで、構造的な破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法としての活用が期待できる。

2.2 高性能材料による補修方法

構造的破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法の2つ目として、既設舗装に残存しているひび割れ位置からのひび割れの再発を抑制することを目的に、低温環境下でも交通荷重に対す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）を切削後の表層に用いる補修方法について試験施工を行うと共に、施工時に採取した特殊改質 As 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。

2.2.1 試験施工概要

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 号倶知安町で試験施工を実施した。それぞれの補修箇所の概要を表-2.2.1 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 の厚さで舗設した。なお、特殊改質 As 混合物は、それぞれの試験施工で異なる材料を使用している。本節では、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、いずれの試験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 で設定し、供用後の路面性状を追跡調査した。

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-2.2.2 に示す。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-2.2.1、写真-2.2.2に示す。これらより、切削後の基層表面において、一般国道44号厚岸町では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を含む多

数のひび割れが残存していたことがわかる。

(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

表-2.2.1 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-2.2.2 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-2.2.1 一般国道 44 号厚岸町の切削後の路面状況



写真-2.2.2 一般国道 276 号倶知安町の切削後の路面状況

表-2.2.3 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号砕石	7号砕石	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 (%)	骨材空隙率 (%)	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-2.2.4 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号砕石	7号砕石	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 (%)	骨材空隙率 (%)	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				



写真-2.2.3 一般国道 44 号厚岸町の施工後の路面状況

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-2.2.3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-2.2.4に示す。また、施工後の路面状況を写真-2.2.3に示す。表-2.2.3、表-2.2.4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、針入度は再生混合物

表-2.2.5 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号砕石	7号砕石	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 (%)	骨材空隙率 (%)	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				

表-2.2.6 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号砕石	7号砕石	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 (%)	骨材空隙率 (%)	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-2.2.4 一般国道 276 号倶知安町の施工後の路面状況

Aと比較して高く、軟質なアスファルトとなっている。施工時の天候は晴れ、目標敷均し温度 155°C~165°C に対して敷均し温度は約 160°C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°C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。

(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

スファルトの性状試験結果を表-2.2.5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-2.2.6に示す。また、施工後の路面状況を写真-2.2.4に示す。表-2.2.5、表-2.2.6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。ただし、針入度は再生混合物Bと同程度であり、ポリマー改質アスファルトの品質規格⁴⁾は40以上であることから、改質アスファルトとしては高い値となっている。

施工時の天候は晴れ、目標敷均し温度 $170 \pm 3^\circ\text{C}$ 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。

2.2.2 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を現地にて採取し、混合物性状に関する室内試験を行った。室内試験では、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³⁾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

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°C 、一般国道276号倶知安町では -19.6°C であった。そのため、試験温度は -20°C から 10°C 刻みで、3条件（ -20°C 、 -10°C 、 0°C ）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。

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-2.2.1、図-2.2.2に示す。

図-2.2.1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°C 付近にピークを示した。試験

施工箇所の最低気温に近い -20°C の破断時の曲げ強度では、特殊改質Aおよび特殊改質Bともに再生混合物の1.5倍程度の値であり、 -10°C においては2倍程度の値であった。また図-2.2.2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よりも高い値を示した。

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

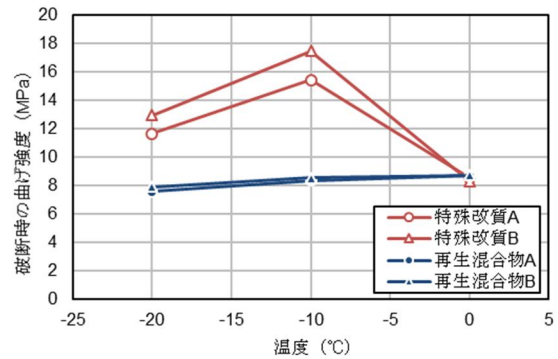


図-2.2.1 破断時の曲げ強度の比較結果

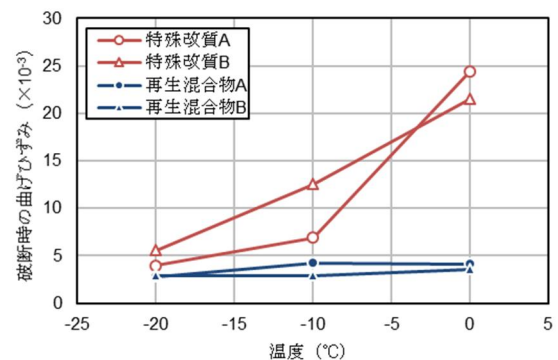


図-2.2.2 破断時の曲げひずみの比較結果

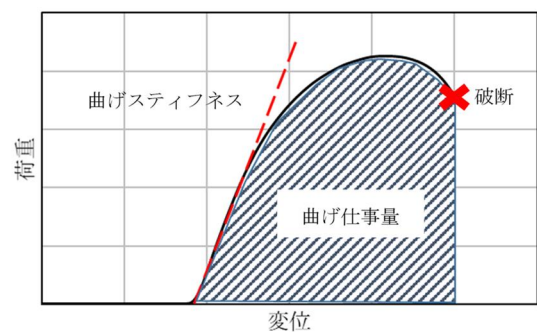


図-2.2.3 曲げ仕事量および曲げスティフネスの概念図

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-2.2.3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-2.2.4に、算出した曲げ仕事量と曲げスティフネスの結果を図-2.2.5に示す。

図-2.2.4より、再生混合物AおよびB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-2.2.5の結果において、再生混合物で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混合物で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。

(2) ホイールトラッキング試験

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。

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-2.2.6に示す。図-2.2.6には、各混合物供試体の平均締固め度を併記している。

図-2.2.6より、再生混合物AおよびBの動的安定度が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しているといえる。

2.2.3 結論

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、構造的な破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法として、切削オーバーレイ補修の際の表層への活用が期待できる。

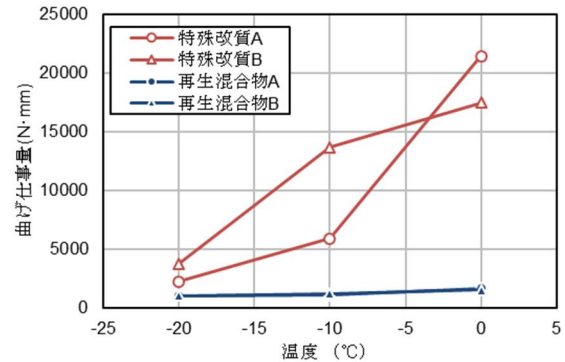


図-2.2.4 曲げ仕事量の比較結果

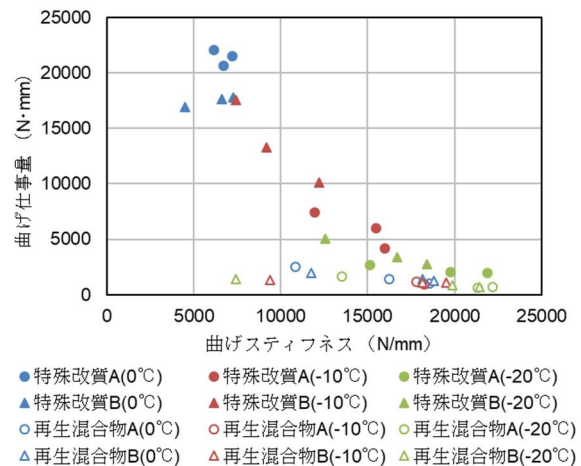


図-2.2.5 曲げ仕事量と曲げスティフネスの結果

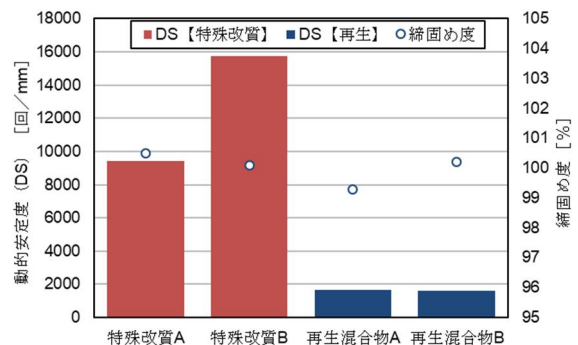


図-2.2.6 動的安定度 (DS) の比較結果

3. 構造的破壊状態の舗装体を改良更新する新技術の提案

3.1 アスファルト混合物層最下層の疲労抵抗性向上策の提案

構造的破壊状態にある舗装体の改良更新技術の1つ目として、アスファルト混合物層最下層（以下、As層最下層とする）に疲労抵抗性の高い混合物を用いることで、疲労ひび割れの発生抑制に寄与することを目的に試験施工を行い、長期に亘る追跡調査結果から混合物層最下層への適用性について検証した。

3.1.1 試験施工概要

試験施工の対象は、舗装の構造の違いによる長期パフォーマンスの検証および力学的設計手法の確立を目的として1990年7月から構築された一般国道36号美々試験道路における舗装断面である。1990年に構築されてから現在までに、疲労破壊したいくつかの断面に対して打換えによる修繕を2007年と2021年の2回行っており、舗装断面の種類が変遷している。1990年から2007年までの期間における調査検討はこれまでも複数報告されており⁵⁾⁶⁾、ここでは2007年から2021年までの期間における舗装断面の長期供用性調査結果について報告する。

これまでの調査では、As層最下層に用いる混合物やAs層最下層の厚さを変化させ、舗装の構造の違いによる長期パフォーマンスの違いを検証した。筆者らが行った既往の調査結果⁶⁾⁷⁾として、As層最下層に用いる混合物の配合によってボトムアップ型疲労ひび割れの発生時期が異なること、舗装を構成する材料や厚さの違いによって路面性状に与える影響が異なることなどを確認した。また、表-3.1.1に示すようにAs層最下層に用いたストレートアスファルトを使用したアスファルト安定処理混合物、粗粒度混合物、密粒度13F混合物の現場切取供試体に対して曲げ疲労試験を実施しており、混合物の配合によって疲労破壊回数に有意な差があること、密粒度13F混合物の疲労ひび割れ抵抗性はアスファルト安定処理混合物よりも高いことを確認した。筆者らが行った室内作成供試体における曲げ疲労試験結果⁸⁾では、表-3.1.2に示すようにポリマー改質II型アスファルトの疲労ひび割れ抵抗性はストレートアスファルトよりも高いと評価される結果が得られている。

これらの調査結果をもとに、As層最下層に用いる混合物の違いによって、舗装体の疲労破壊状況を再検証することを目的に、図-3.1.1に示す舗装断面を構築した。

表-3.1.1 既往の曲げ疲労試験の結果^{6), 7)}

試験ひずみ ($\times 10^{-6}$)	安定処理	粗粒度	密粒度	
200	破壊回数平均	142,148	440,630	978,047
	標準偏差	86,189	104,742	270,324
	変動係数 (%)	60.6	23.8	27.6
	データ数	5	5	5
300	破壊回数平均	18,478	80,031	146,642
	標準偏差	7,414	24,857	51,049
	変動係数 (%)	40.1	31.1	34.8
	データ数	10	10	10
400	破壊回数平均	2,669	33,910	50,078
	標準偏差	1,480	6,521	10,056
	変動係数 (%)	55.5	19.2	20.1
	データ数	5	5	5

表-3.1.2 ポリマー改質II型アスファルトを使用した密粒度13F混合物の曲げ疲労試験結果⁸⁾

試験ひずみ ($\times 10^{-6}$)	密粒13F(スト)	密粒13F(改質II)	
300	破壊回数平均	96,563	3,017,979
	標準偏差	12,423	833,082
	変動係数 (%)	12.9	27.6
	データ数	20	10

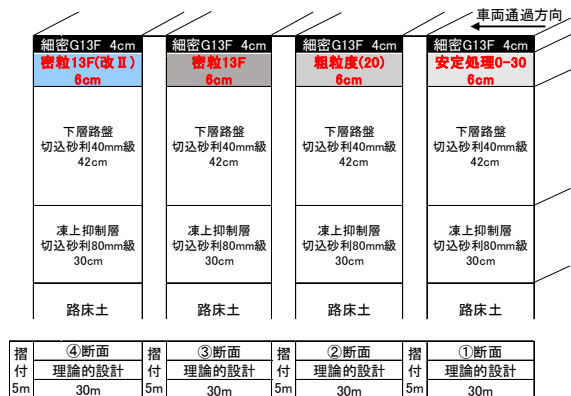


図-3.1.1 美々試験道路における舗装断面図

表-3.1.3 As層最下層に使用した混合物の配合設定値

舗装断面	As混合物層最下層の混合物種類	最大骨材粒径(mm)	アスファルト種類	空隙率(%)	飽和度(%)
①断面	As安定処理混合物	30	ストアス80-100	7.1	56.2
②断面	粗粒度混合物	20	ストアス80-100	4.4	72.3
③断面	密粒度13F混合物	13	ストアス80-100	3.3	80.2
④断面	密粒度13F混合物	13	ポリマー改質II型	3.3	80.0

本検討において対象とした①断面から④断面は理論的設計手法に基づき、アスファルト混合物層が10cmで、As層最下層の混合物種類を変化させている。表-3.1.3に各舗装断面のAs層最下層に使用した混合物の配合設定値を示す。①断面は北海道開発局の舗装設計においてAs層最下層に標準的に用いられるストレートアスファルト80-100を使用したアスファルト

安定処理混合物を用いた断面であり、標準断面として位置づけられる。②、③、④断面は、①断面よりもボトムアップ型の疲労ひび割れに対する抵抗性を向上するために、疲労ひび割れ抵抗性がアスファルト安定処理混合物よりも高いと評価される混合物を用いた断面である。②断面ではストアス 80-100 を使用した粗粒度混合物、③断面ではストアス 80-100 を使用した密粒度 13F 混合物、④断面ではポリマー改質Ⅱ型アスファルトを使用した密粒度 13F 混合物を用いて断面を構築しており、④断面は他の断面よりも優れた長期供用性を示すことを想定している。

3.1.2 長期供用性調査

本検討の対象とした4つの断面において、長期供用時における供用性評価の指標として、舗装路面に現れる性状値であるひび割れ率およびわだち掘れ量について追跡調査を行った。ひび割れ率およびわだち掘れ量の調査は、舗装調査・試験法便覧³⁾に則って実施し、スケッチによる方法を用いた。それぞれの路面性状調査を本舗装断面が構築された2007年10月から毎年春期(5月頃)と秋期(10月頃)の2回、舗装断面が打換わる2021年春までの約14年間に亘って実施した。

(1) ひび割れ率調査

断面構築後から供用約14年間のひび割れ率の時系列推移を図-3.1.2に示す。また、ひび割れ率が5%、20%を超えた年数と、断面打換え前最後の調査である13.5年経過時点のひび割れ率を表-3.1.4に示す。

図-3.1.2、表-3.1.4より、4つの断面の中で最初にひび割れが視認されたのは、As層最下層にアスファルト安定処理混合物を使用した①断面であった。断面構築後8.5年経過後には20%を超え、その後ひび割れの進行が加速し、12.5年経過後から約75%で推移した。②断面では、13.5年経過時点で約18%となった。③断面では、13.5年経過後も約6%程度で推移した。④断面では、10年経過後から20%程度で推移した。混合物にストアス 80-100を使用した①断面、②断面、③断面において、ひび割れの発生順に着目すると、As層最下層に安定処理混合物を使用した①断面、次いで粗粒度混合物を使用した②断面に発生し、密粒度 13F 混合物を使用した③断面で最も遅くひび割れが発生し、ひび割れ率が最も小さい。以上の結果より、As層最下層にアスファルト安定処理混合物を使用した断面では早期にひび割れが発生したのに対し、粗粒度混合物や密粒度 13F 混合物を使用した断面ではひび割れの発生が遅く、ひび割れの進行速度も緩やかであることがわかった。

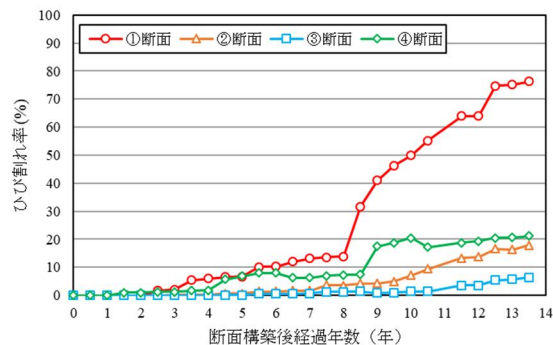


図-3.1.2 各舗装断面のひび割れ率の時系列推移

表-3.1.4 各舗装断面のひび割れ率の経年変化

舗装断面	ひび割れ率が5%を超えた年数(年)	ひび割れ率が20%を超えた年数(年)	13.5年経過時点のひび割れ率(%)
①断面	3.5	8.5	76.4
②断面	9.5	-	17.9
③断面	12.5	-	6.3
④断面	5.0	12.5	21.2

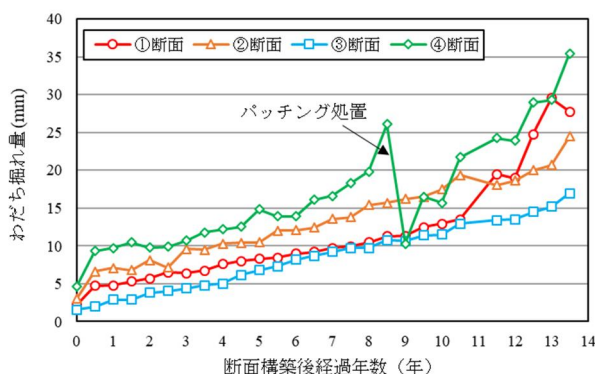


図-3.1.3 各舗装断面のわだち掘れ量の時系列推移

表-3.1.5 各舗装断面のわだち掘れ量の経年変化

舗装断面	供用開始時のわだち掘れ量(mm)	13.5年経過時点のわだち掘れ量(mm)	わだち掘れ進行量(mm)
①断面	2.2	27.7	25.5
②断面	3.0	24.5	21.5
③断面	1.6	17.0	15.4
④断面	4.6	35.5	30.9

As層最下層にポリマー改質Ⅱ型アスファルトを用いた密粒度 13F 混合物を使用した④断面については、他の断面よりも優れた長期供用性を示すことが期待されたが、粗粒度混合物を使用した②断面と同程度かそれよりも大きなひび割れ率となった。④断面においてこのような結果を示した原因については、今後 As 層最下層に使用した実際の混合物に対する曲げ疲労試験を実施し検討を加える。

(2) わだち掘れ量調査

断面構築後から約 14 年間のわだち掘れ量の推移を 図-3.1.3 に示す。また、供用開始時と断面打換え前最後の調査である 13.5 年経過時点のわだち掘れ量を表-3.1.5 に示す。

図-3.1.3、表-3.1.5 より、As 層最下層に密粒度 13F 混合物を使用した③断面が最も小さく推移し、13.5 年経過時点のわだち掘れ量は③断面、②断面、①断面の順に大きくなっている。①断面では、断面構築後約 10 年までは③断面と同程度の推移を示していたが、10 年経過後に進行が速くなり、13 年経過時点で 30mm 程度となった。④断面については、As 層全層がポリマー改質アスファルト II 型であり、わだち掘れ量が最も小さいことが期待されたが、断面構築後から 4 つの断面の中で最も大きく推移しており、途中パッチングによる補修をしたものの、再び進行し 13.5 年経過時点で 35mm となった。

一方、④断面を除く 3 つの断面のわだち掘れ量の進行量を表すグラフの傾きに注目すると、およそ 10 年経過まではいずれの断面においても同様の傾きであった。そのため、 N_7 (3,000 台以上/日・方向) 交通量区分相当の区間では、供用から 10 年程度においては、As 層最下層に用いた混合物の種類によるわだち掘れ量の進行量に大きな差はないと判断される。

3.1.3 結論

以上の結果から、構造的な破壊状態の舗装体を改良更新する新技術として、As 層最下層にアスファルト安定処理混合物を使用するよりも粗粒度混合物や密粒度 13F 混合物といった粒度が細かく飽和度の高い混合物を使用することで、ボトムアップ型の疲労ひび割れの発生を遅らせ、アスファルト舗装の長期供用性が向上すると考えられる。

3.2 断熱工法による更新技術の提案

積雪寒冷地において厳冬期に凍結が路床まで到達し、凍上により舗装にひび割れが生じる場合がある⁹⁾。また、凍結融解作用により路床の支持力が低下し、舗装にひび割れや沈下などの損傷が生じることがある¹⁰⁾。このため、凍上対策は積雪寒冷地において舗装を構築する上で極めて重要である。ここでは、既設アスファルト舗装の凍上対策として、置換工法よりも舗装掘削深さを抑制することにより、コスト縮減・工期短縮が期待される断熱工法について検討を行った結果について報告する。

3.2.1 検討背景

アスファルト舗装は変形追従性を有し、2~3 cm 程度

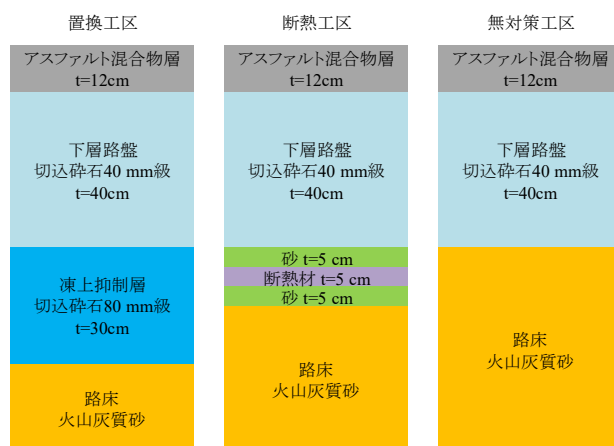


図-3.2.1 試験施工箇所の舗装構成

の凍上ではひび割れが生じないことから、舗装設計便覧においてはある程度の凍上を許容する設計期間内に想定される最大凍結深さの 70 %まで非凍上性の材料で構成する設計法(以下、置換工法)が採用されている。しかしながら、必要な置換厚が確保されていない等の理由により、凍上の被害が生じる場合がある。当該箇所において置換工法を用いて追加の凍上対策を行う場合、既設路盤・路床を掘削し、路床土を入れ換える必要が生じるが、工事費の増加、工期の増大、供用中の交通への影響が懸念される。このような条件において、断熱材を用いて凍結が入る深さを低減し、既設路盤・路床を極力生かし、掘削深さを最小限とする断熱工法が有効となることが期待される。また、アスファルト舗装の新設工事においても置換厚が大きい場合、置換工法よりも断熱工法が有利となることが期待される。

3.2.2 検討概要

断熱工法を用いて舗装断面を決定する際に、検討が必要となる項目を以下に挙げる。

- ①アスファルト混合物舗設時の熱の断熱材への影響
- ②断熱材上層の路盤層の品質確保
- ③不陸および断熱材損傷対策としての砂層の必要性
- ④断熱材の上載荷重及び交通荷重に対する応力照査
- ⑤断熱性能の照査

上記について予備試験および解析を行い、全てを満足する断面を決定し、これに基づき試験施工を実施し、現地における検証を行った。

3.2.3 試験施工概要

試験施工は、当研究所所有の苫小牧寒地試験道路で実施した。試験施工箇所の舗装構成を 図-3.2.1 に示す。

試験施工では、通常置換工法を用いた置換工区、凍上抑制層の代わりに下層路盤下層に断熱層を設けた断熱工区、凍上対策を実施しない無対策工区を設けた。

断熱材には、押出法ポリスチレンフォーム断熱材 (XPS)2種 bA、熱伝導率 0.034 W/(m・K)以下、圧縮強度 360kN/m²以上、許容圧縮応力度 180kN/m²以上 (圧縮強度の 1/2)、耐熱温度 70℃、厚さ 50mm、幅 1,000mm、長さ 2,000mm を用いた。

3.2.4 熱の影響

As 混合物舗設時に断熱材が変質しないよう、熱の影響を受けない適切な深さに断熱材を設置する。断熱材に応じて耐熱温度が異なるため、使用する断熱材による検証を室内において実施した。

この結果、断熱材上面と As 混合物層の間に 10cm 以上の切込砕石 (40mm 級) の下層路盤層を設けることで、As 混合物舗設時に断熱材の上面温度が 70℃以下となることを確認した¹¹⁾。

3.2.5 断熱材上層の路盤層の品質確保

断熱材の上に下層路盤を設けるため、下層路盤の施工性・品質 (締固め度) 確保の観点から、層厚を決定する必要がある。

予備試験より、断熱材直上層に切込砕石 (40mm 級) の粒状材料の層を設けた場合、層厚が 15cm 以下の条件においては、転圧方向に対し垂直方向に材料のすべりに起因されると考えられる筋状の割れが転圧面に確認され、層厚が 20cm の場合においてはこのような状況は確認されなかった。このことから、断熱材の直上に粒状材料の層を設ける場合においては 20cm 程度の層厚を確保することとした¹¹⁾。

3.2.6 砂層の必要性

断熱材施工面の不陸の解消、粒状材料の断熱材への食い込みによる破損を考慮し、本試験施工では断熱材の上下に砂層を設けることとした。

3.2.7 応力照査

断熱材の応力照査は、「EPS 工法-発泡スチロール (EPS) を用いた超軽量盛土工法」¹²⁾より以下の式を用いて実施した。応力照査は式(3.2.1)、式(3.2.2)を用いて実施する。本試験施工箇所において応力照査に用いた条件を表-3.2.1 に示す。これを式(3.2.2)に代入し、式(3.2.1)の照査を実施した。

$$\sigma_z > \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \quad (3.2.1)$$

ここに、

σ_z : 断熱材の許容応力度 (kN/m²)

σ_{z1} : 断熱材上面での上載物荷重 (kN/m²)

表-3.2.1 応力照査条件

断熱材の許容応力度: σ_z	180 kN/m ²
アスファルト混合物層厚	0.12 m
アスファルト混合物層密度	23.5 kN/m ³
下層路盤厚	0.40 m
下層路盤密度	19.6 kN/m ³
砂層厚	0.05 m
砂密度	16.2kN/m ³
断熱材上層の層厚:h	0.12 +0.40+0.05=0.57 m
荷重:P	100 kN
接地幅:B	0.5 m
接地長:L	0.2 m
衝撃係数:i	0.3
荷重分散角: θ	30°

表-3.2.2 応力照査結果

上載物荷重: σ_{z1}	11.47kN/m ²
交通荷重: σ_{z2}	130.79 kN/m ²
$\sigma_{z1}+\sigma_{z2}$	142.26kN/m ²
判定	$\sigma_z > \sigma_{z1}+\sigma_{z2}$ 【OK】

σ_{z1} : 断熱材上面での活荷重 (kN/m²)

$$\sigma_{z2} = \frac{P(1+i)}{(B+2h \tan \theta)(L+2h \tan \theta)} \quad (3.2.2)$$

ここに、

P : 輪荷重 (kN/m²)

B : 車輪輪帯幅 (m)

L : 車輪接地長 (m)

h : 路面から評価面までの深さ (m)

θ : 舗装部の分散角 (°)

i : 衝撃係数

照査を実施した結果を表-3.2.2 に示す。図-3.2.1 に示す断熱工区の断面において、式(3.2.1)の条件を満たし、上載荷重及び交通荷重に対し断熱材の耐力に問題ないことを確認した。

3.2.8 熱伝導解析による断熱性能の照査

市販の熱伝導解析ソフトウェア¹³⁾にて、図-3.2.1 に示す断熱工区の舗装断面をモデル化し、照査を実施した。

照査に用いた各材料の熱定数¹⁴⁾は表-3.2.3 に示すとおりであり、モデルは地表面から 5m の深さまでとした。熱伝導解析にはモデル上面および下面の温度を設定する必要があり、本事例では上面にあたる路面温度には近傍 AMeDAS の外気温を用い、下面温度 (地中 5m の深さ) の温度には、表-3.2.4 に示す既往の温度

計測事例¹⁵⁾より季節変動が少ないことから、設計対象箇所に最も近い観測点の平均地中温度を固定値として採用した。

置換工法においては路床への凍結の侵入および凍上を許容する設計としているが、断熱工法においては、凍上による路床面の不陸により断熱材が破損する可能性があるため路床への凍結の侵入を許容しない設計が望ましいと考える。また、一度断熱材が深が凍結すると、断熱材の効果により地表面からの熱が伝わりにくくなり凍結層の融解が遅れ、凍上による不陸が長期間継続する恐れがある。このため、ここでは設計期間に併せて過去 20 年間で最も凍結指数の大きい年度（図-3.2.2 参照）の冬期間の 1 時間毎の外気温データを路面温度として入力し、0℃線の深さを 1 時間毎に求め、最も 0℃線が深くまで達した時刻において評価を行った。断熱材深さで 0℃線が抑えられる結果が得られれば照査終了とし、0℃線が断熱材よりも下方になった場合は、断熱材の種類、厚さ、設置深さを再検討することとした。

解析結果を図-3.2.3 に示す。0℃線が断熱材の埋設深さ以内に抑えられることを確認したことから、図-3.2.1 に示す舗装断面で試験施工断面を最終決定した。

3.2.9 試験施工箇所における評価

図-3.2.1 に示す断熱工区が前述した 5 項目の検討内容を満足することを把握したことから、同断面にて試験施工を実施し、凍結深さ、凍上量、FWD を用いた支持力評価を行った。

(1) 凍結深さ

試験施工箇所においてメチレンブルー凍結深度計を用い凍結深さを計測し、断熱性能を評価した。

最大凍結深さの計測結果を図-3.2.4 に示す。断熱工区の断熱材埋設深さは 57~62cm であるが、この工区の最大凍結深さはいずれの年度もこれより浅いか、断熱材埋設深さ内で収まっている。一方、無対策工区では 2019 年度を除き路床面の位置する 52 cm より深くまで凍結が入り、路床が凍結した結果となっている。以上の結果から、断熱材設置による断熱効果が有効に働き、路床への凍結の侵入を抑制したと評価される。

(2) 凍上量計測

凍上量計測結果を図-3.2.5 に示す。無対策工区では、凍結が路床まで達している 2016、2017 および 2020 年度に 15 mm 程度の凍上量が観測されたが、置換工区および断熱工区はいずれの年度においても最大凍上量は数 mm 程度であった。また、置換工区、断熱工区の最大凍上量の差はいずれの年度においても 1 mm と

表-3.2.3 材料の熱定数

材料名	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	含水比 w (%)	熱伝導率 λ ($W/m \cdot K$)	熱容量 Q $\times 10^6$ ($J/m^3 \cdot K$)	融解潜熱 L $\times 10^6$ (J/m^3)
As混合物	—	—	1.448	1.875	0.0
切込碎石	2.00	7.0	2.132	1.737	33.5
砂	1.65	15.0	1.969	1.951	82.9
断熱材 (XPS)	—	—	0.033	0.045	0.0
火山灰	1.20	26.0	1.200	1.833	1527.5

表-3.2.4 地中温度

	網走	旭川	札幌	帯広	釧路	根室	浦河	函館
期間最大値 (°C)	9.4	11.0	10.5	10.6	9.0	9.0	10.9	12.6
期間最低値 (°C)	7.6	7.8	7.0	7.1	7.0	6.6	7.5	9.1
最大値-最低値 (°C)	1.8	3.2	3.5	3.5	2.0	2.4	3.4	3.5
期間平均値 (°C)	8.5	9.3	8.9	8.7	8.0	7.8	9.4	10.9

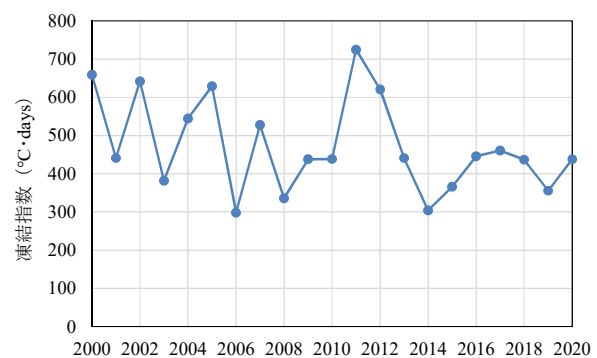


図-3.2.2 設計対象地域の 2000 年度以降の凍結指数

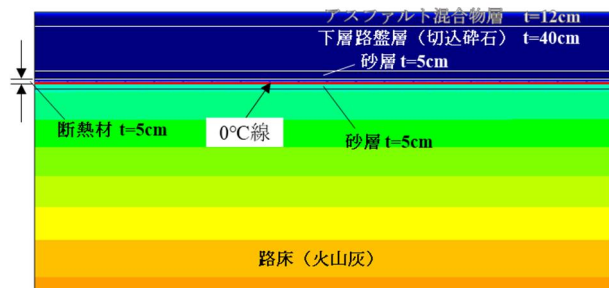


図-3.2.3 熱伝導解析結果

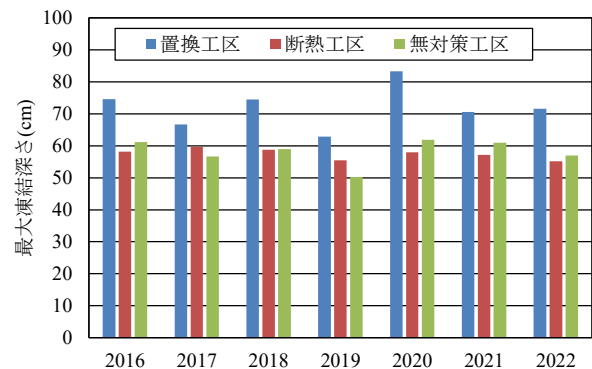


図-3.2.4 試験施工箇所の最大凍結深さ

なっており、両工区において同程度の凍上抑制効果を得られていると判断される。

(3) 支持力測定結果

FWD を用いて計測した各年度の融解期における D_0 たわみ量の最大値を図-3.2.6 に示す。断熱工区の D_0 たわみ量は概ね置換工区以下であり、断熱工区では置換工区と概ね同程度の支持力が得られたと判断される。

3.2.10 結論

以上より、下層路盤下層に断熱層を設けることで置換工法と同程度の凍上抑制効果と支持力を得られることが明らかとなった。断熱工法を用いることで、置換工法と比較して掘削深さが抑制できる場合、工期、工費等を低減でき、有効な対策になり得ると考える。

4. まとめ

本研究では、積雪寒冷地において、構造的な破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法および改良更新する新技术について、実道における試験施工を実施し、長期供用性状を追跡調査した。その結果、得られた知見を以下に示す。

【構造的な破壊状態にある舗装体を存置活用する補修方法】

- ・不織布を基材とするひび割れ抑制シートよりも引張強度が高く伸び率が小さいガラス繊維を基材とするひび割れ抑制シートを基層表面上に敷設することにより、ひび割れ率の増加を長期に抑制でき高い延命効果が得られることが明らかとなった。
- ・積雪寒冷地において、切削オーバーレイ補修時の表層に用いる混合物として、変形追従性の高い特殊改質 As 混合物に関する室内試験を実施した結果、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が明らかとなった。

【構造的な破壊状態にある舗装体を改良更新する新技术】

- ・疲労ひび割れの発生抑制対策として、As 層最下層にアスファルト安定処理混合物を使用するよりも粗粒度混合物や密粒度 13F 混合物といった粒度が細かく飽和度の高い混合物を使用することにより、ボトムアップ型の疲労ひび割れの発生を長期に抑制できることが明らかになった。
- ・既設舗装の凍上対策として、下層路盤下層に断熱材を用いることにより、凍上抑制層を用いた置換工法と同程度の凍上抑制効果および支持力が得られることが明らかとなった。

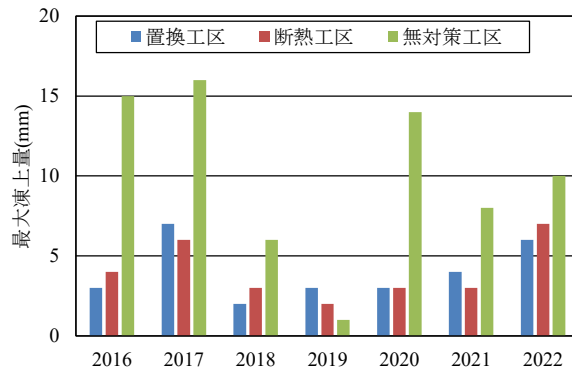


図-3.2.5 試験施工箇所最大の凍上量

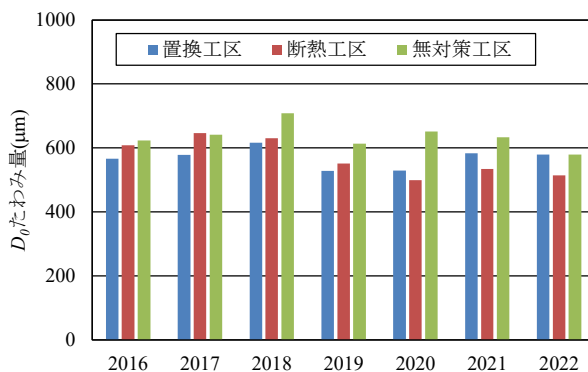


図-3.2.6 試験施工箇所最大の D_0 たわみ量

以上の知見より、構造的な破壊状態にある舗装体の補修・更新にあたって、舗装の長寿命化の観点から以下の補修方法および設計・施工法を提案する。

a) 補強系材料による補修方法

切削オーバーレイ補修に際し、疲労ひび割れが発生した箇所の既設舗装を存置活用して下層からのひび割れを抑制する補修方法として、不織布を基材とするひび割れ抑制シートよりもガラス繊維を基材とするひび割れ抑制シートを切削後の既設舗装のひび割れ部に敷設する補修方法を提案する。

b) 高性能材料による補修方法

切削オーバーレイ補修に際し、既設舗装に発生しているひび割れ部からのひび割れの再発を抑制する補修方法として、変形追従性の高い特殊改質 As 混合物を表層に用いる補修方法を提案する。

c) 混合物層最下層の疲労抵抗性向上策

ボトムアップ型の疲労ひび割れが混合物層を貫通し発生した箇所を改良更新する技術として、粗粒度混合

物や密粒度 13F 混合物のような粒度が細かく飽和度が高い混合物を As 層最下層に使用する方法を提案する。

d) 既設舗装の凍上対策

凍上ひび割れなどが発生し、凍上対策が必要な箇所を改良更新する技術として、置換工法と比較して掘削深さを低減でき、工期、工費、工事中の交通規制に伴う利用者への影響を低減できる断熱工法を提案する。

断熱工法を用いた既設アスファルト舗装の凍上対策に対する設計・施工に際しての留意事項を「断熱工法を用いたアスファルト舗装の設計・施工マニュアル(案)」としてとりまとめた。この中では交通条件、気象条件、維持管理条件(除雪条件)に応じて断熱材を設置するにあたり必要な技術的事項を示している。また、3.2.2 に示した 5 項目の検討および最終的に置換工法等の他の工法とコスト比較を行い、断熱工法の採用の可否を決定する設計フローを整理した。

参考文献

- 1) 道路統計年報, 国土交通省
- 2) 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
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 丸山記美雄, 田高淳, 笠原篤: 美々新試験道路におけるアスファルト舗装の長期供用性, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.3, pp. 519-530, 2006.
- 6) 丸山記美雄, 田高淳, 笠原篤: アスファルト舗装の疲労ひび割れ発生予測に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.3, pp. 416-426, 2008.
- 7) 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疲労ひび割れ発生予測に関する研究, 寒地土木研究所月報, No.682, pp. 2-14, 2010.
- 8) 丸山記美雄, 田高淳, 笠原篤: 改質 II 型混合物の曲げ疲労特性, 第 61 回土木学会年次学術講演会概要集, pp. 287-288, 2006.
- 9) 石川達也, 川端伸一郎, 亀山修一, 安倍隆二, 小野丘: 舗装構造の疲労寿命に及ぼす粒状路盤の凍結融解の影響とその評価, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.67, No.3, pp.109-116, 2011.
- 10) 土木学会: 舗装工学ライブラリー6 積雪寒冷地の舗装, pp.30-32, 2011.
- 11) 上野千草, 松本第佑, 丸山記美雄: 断熱工法を用いたコンクリート舗装の凍上対策に関する一検討, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.78, No.2(舗装工学論文集第 27 巻), pp.I_92-I_99, 2023.
- 12) 発泡スチロール土木工法開発機構: EPS 工法-発泡スチロール(EPS)を用いた超軽量盛土工法, pp.89-93, 1993.
- 13) 地層科学研究所: 2 次元熱伝導解析ソフトウェア G-HEAT/2D
- 14) 公益社団法人地盤工学会北海道支部 地盤の凍上対策に関する研究委員会: 寒冷地地盤工学, 中西出版, p. 48, 2009.
- 15) 農林水産省: 地中温度等に関する資料, 農業気象資料, 第 3 号, 1982.

RESEARCH ON PAVEMENT RENEWAL TECHNOLOGY FOR PAVEMENTS IN STRUCTURAL FAILURE CONDITION USING THEORETICAL METHODS

Research Period: FY2021-2024

Research Team: Road Maintenance Research Team,

Cold-Region Maintenance Engineering Research Group

Author: MARUYAMA Kimio, UENO Chigusa ,

MATSUMOTO Daisuke

Abstract: The objective of this study was to develop a technology to repair and renew pavements that are in a structurally failure condition with higher durability and longer life than before. It found that, as a renewal technique, the pavement structure using a mixture with high fatigue crack resistance in the lowest layer of the mixture layer was effective against fatigue cracks, and the pavement structure using insulation material was effective against damage caused by freezing and thawing.

Keywords: Snowy and cold regions, Crack suppression sheet, Insulation method, Long-life pavement, Long-term serviceability