

ひび割れ抑制シートの効果と適用方法 に関する検討

寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○丸山 記美雄
寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 星 卓見
寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 木村 孝司

本研究は、ひび割れ抑制シートのひび割れ抑制効果を、供用中の道路において長期追跡調査によって評価し、今後の適用方法を検討したものである。

約10年間の長期追跡調査の結果、引張強度が高く伸び率の少ないシートはひび割れ再発抑制に有効であることが確認された。特に、亀甲状の疲労ひび割れの補修時には、引張強度が高く伸び率の小さいシートを適用することが有効であると考えられる。

キーワード：ひび割れ抑制シート、延命化、リフレクションクラック、疲労ひび割れ

1. はじめに

維持修繕全般に要する費用の削減努力が厳しく求められている中、舗装補修においても既存の舗装資産の延命化を図り、有効に活用するという観点に立った工法の実現を行う必要性が高まっていると考えられる。既存の舗装を活かし、有効に活用するための一手法として、舗装補修時にひび割れ抑制シートを使用する方法が存在する。

舗装の補修に際して、ひび割れ抑制シートはこれまでも現場において活用されてきている。特に、不織布を基材としたタイプのひび割れ抑制シートを用いることが従来は多かったが、その効果に関する定量的な追跡調査データは少なく、費用対効果が明らかとはいえない点が課題といえる。さらに近年では、ガラス繊維などの強度の高い基材を用いたシートの出荷実績が多くなっており、これらのタイプのシートのひび割れ抑制効果についても明らかにしていく必要があると思われる。

そこで、本研究では、北海道の国道で良く見ることが出来る低温ひび割れと疲労ひび割れの補修を対象に、ひび割れ抑制シートのひび割れ抑制および発生遅延効果を、供用中の道路における約10年間の長期追跡調査によって評価し、今後の適用方法を検討したものである。

2. ひび割れ抑制シートとは

(1) ひび割れ抑制シートの概要と種類

ひび割れ抑制シートは、概ね図-1に示すような断面構造をしており、布状やシート（薄い板）状やメッシュ（網目）状の基材の表面に、特殊アスファルトや特殊ゴムアスファルトを含浸または被膜させて1mm～3mm程度

のシート状にしたものである。ひび割れ抑制シートを既設舗装のひび割れ直上に貼り付けることで、既設舗装のひび割れが上層に舗装する層に伝播しないようにしてひび割れの再発（リフレクションクラック）を抑制する。

ひび割れ抑制シートの性質は、基材のタイプ、被膜する特殊アスファルトの性質、材料の厚さと幅、貼付け方法（接着方式、流し貼り方式、釘止め方式など）などによって影響されるため、単純に分類できない面があるが、本論文では基材の材質に応じて大まかに以下の4種類のタイプに分類している。

- a. 合成繊維不織布を基材とするタイプ
- b. ガラス繊維メッシュorシートを基材とするタイプ
- c. ビニロン繊維メッシュを基材とするタイプ
- d. ステンレス繊維メッシュを基材とするタイプ

現在市場に出回っている製品を上記の4種類のタイプに分けて、各々のタイプの長手方向と幅方向の引張強度のカタログ値を整理した結果を図-2に示す。図-2からは、合成繊維不織布を基材とするタイプよりも、ガラス繊維を基材とするタイプの引張強度が高い傾向にあるなど、基材の材質によってひび割れ抑制シートの強度が異なることが分かる。各々のタイプの特徴を表-1に示すが、一般的な傾向として不織布を基材とするタイプは引張強度は小さいが伸び率が高く、各種の繊維メッシュやシートを基材とするタイプは不織布を基材とするタイプに比べて引張強度が高く伸び率が小さいのが特徴である。

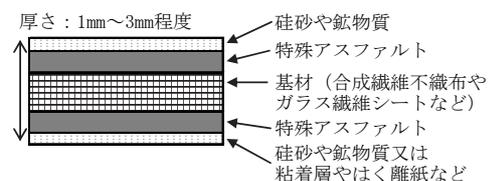


図-1 ひび割れ抑制シートの断面概要図

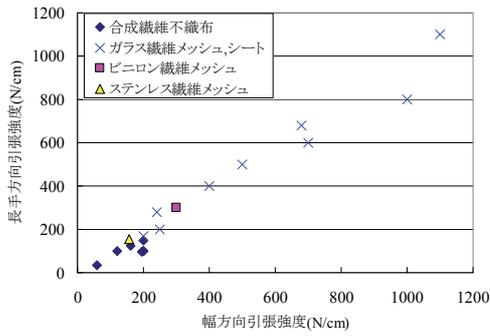


図-2 ひび割れ抑制シートの引張強度(基材の材質別)

表-1 ひび割れ抑制シートの特徴(基材の材質別)

基材の種類	特徴
合成繊維不織布	引張強度は比較的小さい傾向(50~200N/cm程度) 伸び率が高く(30%以上)、変形や伸びに追随する
ガラス繊維メッシュ	直交する繊維方向の引張強度が高く(200~1000N/cm程度) 直交する繊維に対して斜め方向の引張強度は小さい傾向にある 伸び率は小さい(数%程度) 柔軟性があり、切断面などの凹凸に追随しやすい
ガラス繊維シート	直交する繊維方向の引張強度が高く(200~1100N/cm程度) 直交する繊維に対して斜め方向の引張強度も比較的良好 伸び率は小さい(数%程度) ハリがあり、切断面などの凹凸に追随しにくく空隙が残ることがある
ピニロン繊維メッシュ	直交する繊維方向の引張強度が高く(300N/cm程度) 直交する繊維に対して斜め方向の引張強度は小さい傾向にある 伸び率は小さい(数%程度)
ステンレス繊維メッシュ	直交する繊維方向の引張強度が高く(150N/cm程度) 直交する繊維に対して斜め方向の引張強度は小さい傾向にある 伸び率は小さい(数%程度)

(2) ひび割れ抑制シートの室内試験による評価

ひび割れ抑制シートの効果について、室内試験によって検証した結果を筆者らの既報¹⁾から抜粋し、図-3に示す。室内試験によってリフレクションクラックが貫通するまでの時間を調べたものであるが、試験方法の詳細は既報¹⁾に記載してあるので省略する。表層混合物が同じもの同士を比較すると、ひび割れ抑制シートが無い場合に比べて、ひび割れ抑制シートがあるものはリフレクションクラックが貫通するまでの時間が遅い。さらに、シートの基材が不織布の場合に比べて、シートの基材がガラス繊維の場合のほうが、リフレクションクラックが発生するまでの時間が遅い。このように、ひび割れ抑制シートはリフレクションクラックの発生を遅延させる効果があり、シートの基材にガラス繊維を使用したものの方が効果が高いことを室内試験では確認している。ちなみに、表層混合物にストアス混合物に変えてポリマー改質II型混合物を用いることによって、舗装体のひび割れ抑制効果が高まることも見て取れる。

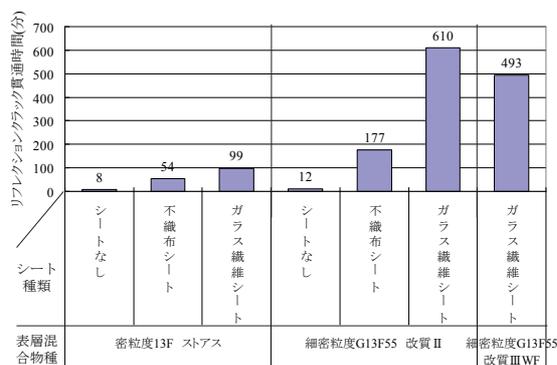


図-3 リフレクションクラック貫通時間

3. 低温ひび割れ補修箇所での長期追跡調査

北海道の道路における積雪寒冷地特有の舗装損傷現象のひとつに写真-1に示すような低温ひび割れがある。このひび割れは、急激な温度低下に伴う舗装体の収縮に起因し、北海道の中でも冬の寒さが厳しい地域に多く発生する特徴がある²⁾。低温ひび割れはそのまま放置すると、ひび割れ開口部から雨水等が進入し、路盤、路床の破壊にまで至り平坦性が悪化することがあるため³⁾、適切に補修する必要がある。低温ひび割れの補修工法としては、ひび割れ開口部へのシール材注入後、ひび割れ抑制シートを敷設し、その上にオーバーレイする工法が標準的に行われている。しかし、低温ひび割れ発生地域の中でも特に寒さの厳しい地域では、上述のような標準的補修工法の施工後1冬を経過した時点でも再びクラックが発生してしまうことがある。

本報では、寒さが厳しい地域における低温クラック発生箇所において、標準的補修工法を含む2種類の補修工法を用いて試験的に補修を行い、1冬経過後、4冬経過後、10冬経過後の現地調査からひび割れ再発抑制効果の持続性を検証した。



写真-1 低温ひび割れ

(1) 低温ひび割れ補修箇所の概要

調査対象箇所は、国道275号幌加内町KP=162~163、交通量区分N₄(100以上250台未満、旧A交通)の区間であり、図-4に試験施工の区間割りを示す。同一車線上に隣接して、合成繊維不織布を基材としたシートを用いた補修区間(以下、合成繊維不織布シート区間)と、ガラス繊維シートを基材としたシートを用いた補修区間(以下、ガラス繊維シート区間)の2種類の区間を設けて、補修後のひび割れ再発状況を比較している。

ちなみに、合成繊維不織布シート区間は、図-5右図に示すように、既設舗装にシール材注入+ひび割れ抑制シートA(合成繊維不織布を基材、幅W=330mm)敷設+レベリング層(粗粒度アスコン平均厚32mm)+表層(密粒度アスコンt=30mm)で補修している。本補修工法は、低温ひび割れの補修として最も標準的に用いられており、実績も多い工法である。一方、ガラス繊維シート区間は、図-5左図に示すように、シール材注入+ひび割れ抑制シートB(ガラス繊維シートを基材 幅W=500mm)敷設+レベリング層(粗粒度アスコン平均厚32mm)+表層(密粒

度アスコン $t=30\text{mm}$)で補修している。本シートは、ガラス繊維を一方に引きそろえた薄肉シートを積層し、両面に改質アスファルトを塗布したものである。

試験施工位置近傍の1980年～2000年の凍結指数の平均値は $943^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ と、北海道内の観測地点の平均値 $585^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ よりも高く厳しい寒さに晒される箇所といえる。

表-2に、各区間の補修前の既設舗装における低温ひび割れ本数を示す。補修前の低温ひび割れ発生状況はどちらの区間も100m当り11.5本とほぼ同程度であったことが分かり、補修後のひび割れ再発を追跡比較するのに好都合である。

(2) 低温ひび割れ補修箇所調査結果

施工後1冬を経過した後の各区間のひび割れ再発状況図を図-6に、ひび割れ再発本数と再発率を表-3に示す。

図-6および表-3から、合成繊維不織布シート区間では補修前のひび割れ本数23本に対して8本が再発し、再発率が35%であることが分かる。本調査箇所のような非常に厳しい低温環境下では低温ひび割れ補修手法として実績のある合成繊維不織布シートでは低温ひび割れ抑制効果に限界があるものと考えられる。一方で、ガラス繊維シート補修区間の方がひび割れ再発率は13%と低い。ひび割れ幅についても、合成繊維不織布シート区間では最大

表-2 補修前の低温ひび割れ本数

	ガラス繊維シート区間(L=270m)	合成繊維不織布シート区間(L=200m)
補修前 全ひび割れ 本数(本)	31	23
補修前 単位本数 (本/100m)	11.5	11.5

図-4 低温ひび割れ補修箇所の平面図

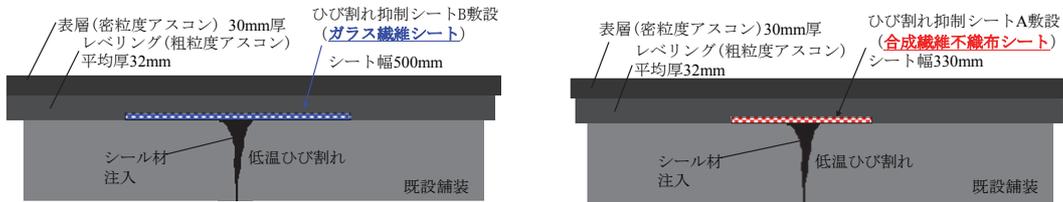


図-5 低温ひび割れ補修 各区間の概略図(左: ガラス繊維シート区間 右: 合成繊維不織布シート区間)

表-3 1冬経過後のひび割れ再発状態

	ガラス繊維シート区間(L=270m)	合成繊維不織布シート区間(L=200m)
ひび割れ 発生本数(本)	4	8
単位本数 (本/100m)	1.48	4
再発率(%)	13	35
ひび割れ幅(mm)	1mm程度	3mm程度

図-6 1冬経過後のひび割れ概略図

表-4 4冬経過後のひび割れ再発状態

	ガラス繊維シート区間(L=270m)	合成繊維不織布シート区間(L=200m)
ひび割れ 発生本数(本)	10	12
単位本数 (本/100m)	3.7	6.0
再発率(%)	32	52

図-7 4冬経過後のひび割れ概略図

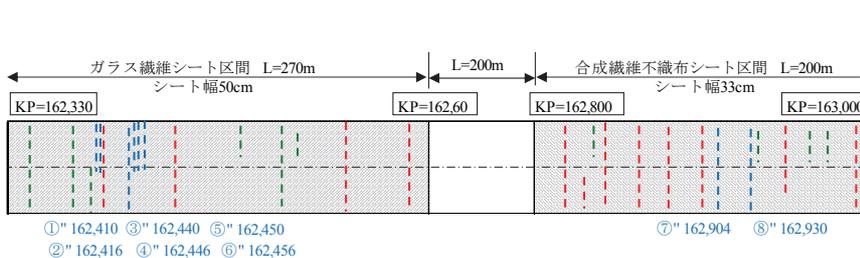


表-5 10冬経過後のひび割れ再発状態

	ガラス繊維シート区間(L=270m)	合成繊維不織布シート区間(L=200m)
ひび割れ 発生本数(本)	16	14
単位本数 (本/100m)	5.9	7.0
再発率(%)	52	61

図-8 10冬経過後のひび割れ概略図

3mm程度、ガラス繊維シート区間では最大1mm程度と差があった。ひび割れ部の角欠けや損傷の広がり防止のために、合成繊維不織布シート区間に発生した3mm程度のひび割れにはシール材の注入処理の手間を要している。

次に、施工後4冬経過後の各区間のひび割れ再発状況図を図-7に、ひび割れ再発本数を表-4に示す。両工区とも、1冬経過時点よりもひび割れ再発本数が増加しているが、ガラス繊維シート区間の方がひび割れの再発本数が少なく、再発率が低い傾向に変わりはない。

10冬経過時点のひび割れ再発状況図を図-8に、ひび割れ再発本数を表-5に示す。合成繊維不織布シート区間の再発率が61%であるのに比べ、ガラス繊維シート区間の再発率は52%と低い、両工区の差は10%以下に縮まってきた。再発したひび割れに維持的な対応が行われた状況に違いがある事を述べておく。合成繊維不織布シート区間のひび割れは開口幅が大きい傾向にあり、1冬経過時点でシール材注入の処置がなされたが、4冬経過時点までにシール材は剥離飛散し、その後ひび割れ部分が角欠けしてポットホールが生じるなどして混合物による補修が行われたひび割れが5本あるのに比べて、ガラス繊維シート区間のひび割れはひび割れ開口幅が小さく、現在まで維持的な対応を要していない。

これらのことから、ひび割れ抑制シートの種類によって効果に若干の違いが認められ、ガラス繊維シートは合成繊維不織布シートよりも良好な経過を示していると言える。ただし、いずれのシートもひび割れの再発を抑制・遅延させる効果があり、若干の程度の差があるだけで評価することも可能である。いずれのシートもひび割れ開口部からの雨水の浸入を抑制し、路盤や路床の破壊

を抑制している点は評価できる。本試験施工箇所の場合、経済性の面では、ガラス繊維シート補修は、合成繊維不織布シートより5%程度工事費が高くなるが、その後の維持補修費を含めたライフサイクルコスト(LCC)が有利となっているかどうかは、まだ断定することはできない。

4. 疲労ひび割れ補修箇所での長期追跡調査

(1) 疲労ひび割れ補修箇所の概要

ひび割れ抑制シートの疲労ひび割れ補修効果を検証する目的で、平成19年度に試験施工を行っている。試験施工箇所は国道36号苫小牧市美々、交通量区分はN₇ (3,000台以上、旧D交通)の路線箇所である。この試験施工区間においては、平成2年に交通量区分N₅ (250以上1000台未満、旧B交通) 対応の開発局舗装標準断面(表層4cm、基層5cm、上層路盤6cm)を試験的に延長60m設けていたが、平成13年3月に疲労ひび割れの発生が観測され、その後平成14年3月に切削4cm+オーバーレイ4cmが施工された。さらにその後、平成19年度の時点で図-9に示すような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と補修が必要な状況となったことから、補修に際して前述した目的の試験施工を行ったものである。補修工事は平成19年10月末に実施され、補修後に一般交通に供用されて約9年2ヶ月経過している(平成28年12月末時点)。

補修方法の概要を図-10に示す。既設舗装の表層を4cm切削後、ガラス繊維シートを基材に用いたひび割れ抑制シートを既設舗装の基層表面タイヤ通過位置に1m

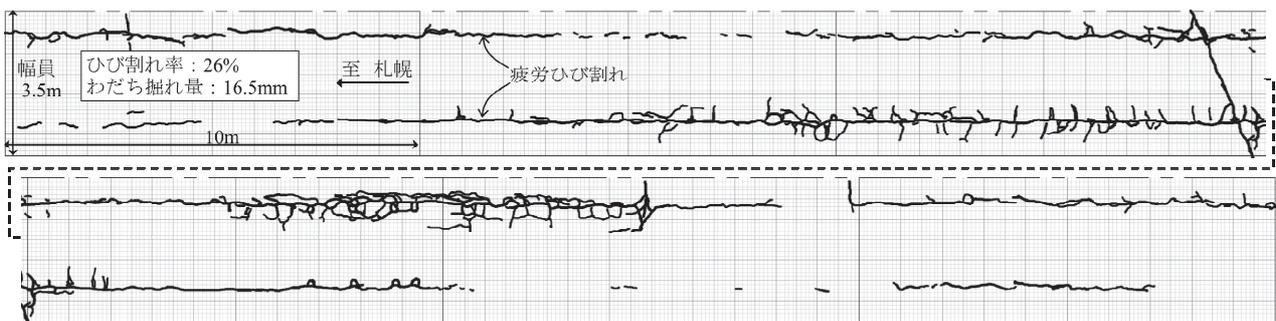


図-9 補修前の路面の疲労ひび割れ状況(幅員3.5m、延長60m区間)

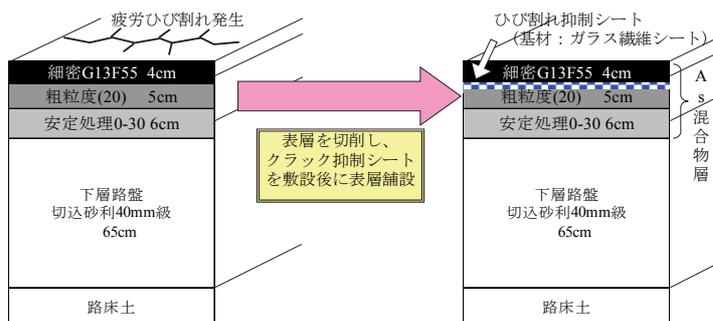


図-10 疲労ひび割れ補修方法概要図



写真-2 ひび割れ抑制シート貼り付け後の状況

幅で縦断方向に連続して流し貼りし、表層に細密粒度ギャップアスコン13F55（改質Ⅱ型）を4cm舗設している。したがって、疲労ひび割れが発生した既設舗装は、シートの下にそのまま残存した状態である。ひび割れ抑制シート貼り付け後の状況を写真-2に示す。追跡調査項目は表-6に示すとおりであるが、試験目的がひび割れ抑制シートの疲労ひび割れ補修効果を検証することであるから、本報では特にひび割れの再発状況に重点を置いて述べる。

(2) 疲労ひび割れ補修箇所調査結果

供用後約9年間のわだち掘れ量、平坦性、ひび割れ率などの路面性状追跡調査結果を表-7に示す。特にひび割れ率に着目すると、約9年経過時点でもひび割れ率は6.6%に留まっている。供用後9年経過時点の路面のひび割れ状況を図-11に示す。図-9に示した補修前の既設舗装のひび割れ状況と比較すると、ガラス繊維シートを基材にしたひび割れ抑制シートによって、ひび割れの再発が抑制されていることが分かる。若干ひび割れの再発がみられ、ポットホールが発生した部分もあるが、今後の供用にはまだ十分に耐える状態であると判断される。

図-12には、平成14年に施工した切削オーバーレイ後のひび割れ率追跡調査結果と、平成19年にひび割れ抑制シートを施工した後のひび割れ率追跡調査結果を対比して示した。切削オーバーレイでは施工後約2年でひび割

れの再発が目立つようになり、約6年後には30%近くまでに進展して補修が必要となったのに比べて、ひび割れ抑制シート工法のひび割れ進行速度は緩やかであり、ひび割れの再発を抑制・遅延する効果が認められる。

参考として、当該箇所の交通量および車両重量調査結果を表-8に示す。日当りの大型車交通量は約1,700台/車線、輪荷重の49kN換算輪数は日当りで約1,300輪/車線である。したがって、補修工事実施後、約9年2ヶ月経過までの間の累計49kN換算輪数は520万輪(平成28年12月現在値)に達している。交通量区分N₃ (250以上1,000台未満、旧B交通)の疲労破壊輪数は100万輪/10年である⁴⁾のに対して、約9年2ヶ月経過までの間に既に疲労破壊輪数の5倍を上回る49kN換算輪数が通過していることになる。

ガラス繊維シートを基材にしたひび割れ抑制シートを用いることで、疲労ひび割れが進行した既設の舗装体を、疲労破壊輪数が5倍以上超える期間、供用可能とした効果は高く評価できる。また、1,700台/日の大型車交通量に対して約9年供用に耐える状態を保っていることから、交通量区分N₃ (250以上1,000台未満、旧B交通)の大型車交通量上限1,000台/日の場合には単純計算で9×1.7=15.3年までのひび割れ抑制効果が確認できたことになり、交通量の面からも十分な耐久性を示したと評価できる。

表-6 追跡調査項目

わだち掘れ量
平坦性
ひび割れ率
交通量及び輪荷重
FWDによるたわみ量

表-7 路面性状追跡調査結果

測定年月	H19.11	H20.10	H21.10	H22.10	H23.10	H24.10	H25.10	H26.10	H27.10	H28.10
測定項目										
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
平坦性(mm)	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5
ひび割れ率(%)	0	0	1.4	1.4	1.4	2.7	3.7	4.5	—	6.6

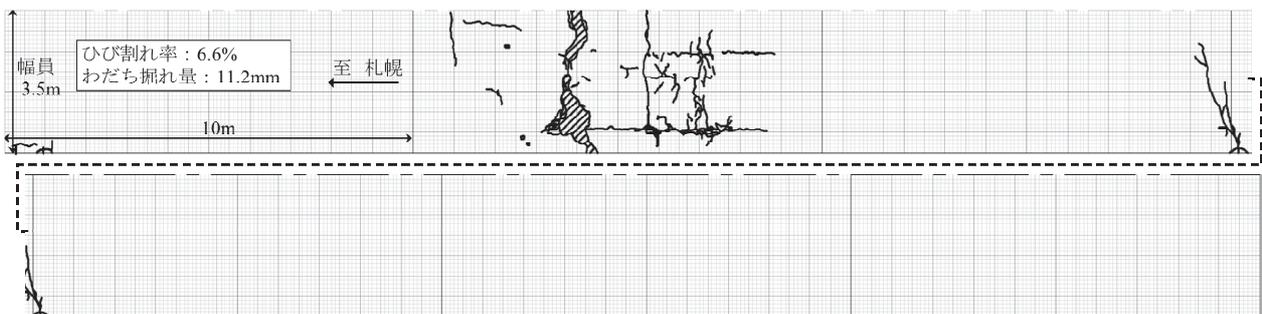


図-11 補修後9年経過時点のひび割れ再発状況(幅員3.5m、延長60m区間)

表-8 交通量および車両重量調査結果

測定年	交通量調査結果(台/日)		輪荷重測定結果(輪/日)
	全交通量	大型車	日49kN換算輪数
2007年(H19)	5,678	1,652	1,480
2008年(H20)	5,635	1,634	1,518
2009年(H21)	5,788	1,507	1,126
2010年(H22)	5,722	2,167	1,245
平均	5,706	1,740	1,342

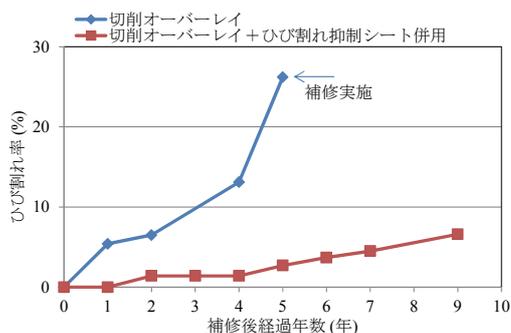


図-12 工法別のひび割れ率の推移比較

5. 適用方法の検討

(1) 低温ひび割れに対しての適用方法検討

低温ひび割れの動きは温度差が大きい場合には一日2mm程度開口幅が変化すると言われている³⁾。このような挙動を示す低温ひび割れをシートとオーバーレイで完全に抑制することは困難であり、ひび割れ再発はある程度受容することが前提となる。ひび割れの再発を受容した上で、再発率を少なくすること、再発を遅らせること、再発したひび割れの開口幅を小さくすること、再発したひび割れ周辺の損傷を進展しにくくすること、再発ひび割れ開口部から路盤や路床に水が浸入しにくいようにすること、といった視点を持つことが、既存の舗装資産の延命化と有効活用につながると考えられる。

上述した視点に立脚すると、ひび割れ抑制シートの敷設により、ひび割れ開口部から浸入する水が遮断され、路盤や路床に及ぶ悪影響が軽減されると考えられるので、シートの敷設は有益である。そして、シートの種類については、10冬経過時点でのひび割れ再発率が不織布シートで61%、ガラス繊維シートで52%と大きな差があるとは言えないが、再発したひび割れの開口幅が少なく、ひび割れの発生が遅く、ひび割れ部分に発生する角欠け損傷が少ないという点も含めて評価すると、ガラス繊維シートなどの引張強度が高く伸び率が小さいシートを適用することは有効であると考えられる。

経済性については、ガラス繊維シートを使用した場合、施工時の費用(材工共)は約5%程度の増加と試算される。再発したひび割れ部分のシール注入や角欠け損傷への対応などの維持費も含めたライフサイクルコストを考慮すれば、5%の施工費用の増加は回収可能とも考えられるが、明らかな経済的優位性を確認するには至っていない。

(2) 疲労ひび割れに対する適用方法検討

疲労ひび割れに対しては、ガラス繊維シートを基材としたひび割れ抑制シートの敷設によるひび割れ抑制効果は高いと評価できる。シートを用いずに切削オーバーレイを施した場合は5年で再補修が必要な状態になったのに比べて、ひび割れ抑制シートを敷設した場合は9年経過した現時点においても供用に問題がない状況である。

経済性については、タイヤ走行位置に1m幅のガラス繊維シートを張り付ける場合、シートを用いない切削オーバーレイに比較すると施工時の費用(材工共)は約70%程度の増加と試算される。しかし、供用後の年数は9年/5年=1.8倍で、少なくとも約80%延命できたと考えると、施工費の70%の増加は既に回収できているといえる。

以上のことから、疲労ひび割れが発生している箇所においては、単純に切削オーバーレイするのではなく、シートを併用すること、更にシートにはガラス繊維シートを基材としたひび割れ抑制シートを適用することが有益である。

ただし、疲労ひび割れ発生箇所にシート工法を適用するのは、経済的な制約等があり、既設の舗装体を有効に活用する方法をとらざるを得ない場合の話である。疲労ひび割れが発生している状態は、舗装体が疲労破壊しており所定の支持力を有していない状態と判断されるため、本来ならば、破損部分を撤去してアスファルト混合物層全層を打ち換えるのが望ましい。しかし、舗装維持修繕費に限られる中で現在ある舗装資産の延命化を図り有効に活用するという観点では、ガラス繊維シートなどの引張強度が高く伸び率が小さいシートを活用することが有効であるという事である。

6. まとめ

本研究をまとめると以下のとおりである。

- (1) 低温ひび割れ補修箇所における追跡調査結果から、ひび割れ抑制シートによって、低温ひび割れの再発がある程度抑制できている状況が確認できた。ガラス繊維を基材に使用したシートの方が不織布を基材にしたシートよりも経過は良好であり、再発したひび割れの開口幅も狭い状況が確認できた。低温ひび割れの補修にひび割れ抑制シートを用いることは有益であり、ガラス繊維シートなどの引張強度が高く伸び率が小さいひび割れ抑制シートを適用することは有効と考えられる。
- (2) 疲労ひび割れ補修箇所における追跡調査結果から、ガラス繊維シートを基材に用いたひび割れ抑制シートによって、疲労ひび割れ部のリフレクションクラックの発生を抑制する効果が見られた。疲労ひび割れが発生している箇所においてひび割れ抑制シートを用いる場合には、ガラス繊維シート等を基材としたひび割れ抑制シートを適用することが有効と考えられる。

おわりに

長期の追跡調査にご協力いただいた札幌開発建設部および室蘭開発建設部の関係各位に謝意を表する。

【参考文献】

- 1)丸山、金子、熊谷：舗装補修に使用するひび割れ抑制シートの効果、第54回(平成22年度)北海道開発技術研究発表会、2011年2月
- 2)菅原、久保、森吉：寒冷地舗装に発生する横断ひび割れ、道路、1978年8月
- 3)阿部、小笠原、野竹：アスファルト舗装の低温クラックの評価と補修工法について、第21回日本道路会議論文集、1995年
- 4)日本道路協会：舗装設計便覧、2006年2月
- 5)土木学会舗装工学委員会：積雪寒冷地の舗装、舗装工学ライブラリ6、2011年3月