

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

西川隆晴¹・西形達明²・原 富男³

¹正会員 関西大学大学院 工学研究科 (〒135-0043 東京都江東区塩浜2-7-20大成ロテック株)

²正会員 工博 関西大学助教授 工学部土木工学科 (〒564-0073吹田市山手町3-3-35)

³正会員 福田道路株式会社 技術部 (〒160-0002東京都新宿区坂町28番地三廣ビル)

クラックの入った既設舗装やコンクリート舗装の上にアスファルト混合物をオーバーレイする工法は一般的によく施工されている。しかし、既設舗装のクラックやコンクリート舗装の目地がオーバーレイ層にリフレクションクラックとして早期に発生し、供用性を低下させることがある。

本研究においては、比較的簡易に施工が可能な不織布を用いたリフレクションクラックの抑制工法について適正タックコート量の設定方法およびその耐久性と防水効果について室内実験を行うとともに実施工場の追跡調査結果からその耐久性を評価した結果を報告するものである。

Key Words : *Geotextile, Non Woven Fabric, Overlay, Reflective Cracking,*

1. はじめに

維持補修の時代といわれる現在、コンクリート舗装およびアスファルト舗装上にアスファルト混合物でオーバーレイする工事は、施工時間の短さ、価格の安さから多く採用されている。しかしながら、コンクリート舗装の目地または既設アスファルト舗装に入っていたクラックが早期にリフレクションクラックとして現れるなどの問題を有している。リフレクションクラックが入ると車両の走行性が損なわれるほか、舗装内部に雨水が浸透し路盤強度の低下や、路盤の細粒分がポンピングにより流出し空洞の発生を引き起こし、構造的な破壊につながる。リフレクションクラック防止工法としては、クラック上にシートを敷設する方法¹⁾²⁾、開粒度アスファルト混合物を中間層として舗設する方法³⁾、または、応力緩和層 (Stress Absorbing Membranes Interlayer; SAMI) を設ける⁴⁾⁵⁾等の方法が研究され報告されている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。しかし、これを完全に防止する方法が見つかっていないのが現状である。

本論文では、比較的簡易に施工できるジオテキスタイルを用いたリフレクションクラック抑制工法によるオーバーレイの耐久性向上について、室内実験および実路での追跡調査を通じた知見を報告するものである。

2. 室内実験

ジオテキスタイル(以下、不織布と記す)を敷設する場合、不織布を下部の既設舗装に密着させ、かつ、上部のアスファルト混合物と接着させなければならぬ。不織布を使用する場合、通常はストレートアスファルトによりタックコートを施しているがタックコート量は、不織布の材質、既設路面の平滑さ、古さ、オーバーレイ混合物との温度差などにより異なってくる。タックコート量が多いと既設舗装とオーバーレイ層ですべりや、わだち掘れの発生原因にもなりかねない。

室内実験においては、最適タックコート量を求めるために米国のFHAの文献⁹⁾を参考に機械油保有量試験、不織布のアスファルト保留量および面積変化試験、マーシャル突き固め装置を用いた適正アスファルト使用量試験を行い適正タックコート量の検討を行った。また、オーバーレイ層の耐久性については、ホイールトラッキング試験機を用い繰り返し疲労試験を行い、クラック発生状況を観測し評価した。また、不織布を用いたオーバーレイの防水効果を確認するためにクラックが発生した部分の透水試験も実施し評価した。

(1) 使用材料

a) 不織布

オーバーレイに使用する材料であるので、厚さが薄く、しかも取り扱いの簡易な材料として不織布を選定した。

表 - 1 試験布の性状および物性

記号	A	B	C	D	
製造方法	ヒート	ニードル	ニードル	ニードル	
原料	ポリプロピレン ポリエチレン	ポリエステル	ポリエステル	ポリプロピレン	
物性	重量 g/m^2	140	210	130	135
	厚さ mm	0.7	22	1.3	0.6
引張強さ	縦 $kN/5cm$	3	5.7	4.5	7.8
	横	3.4	4.9	3.1	7.8
破壊時のひずみ	縦 %	15	70	60	65
	横	12	75	65	65

表 - 2 アスファルトの性状

アスファルトの種類	針入度 $25/10mm$	軟化点	引火点	比重			粘度(cst)			備考
				25	25	140	140	160	180	
スレート状 40/60	46	51.5	335	1.029	354	154	77		混合物用	
スレート状 60/80	71	49.0	334	1.029	320	135	62		物用	

表 - 3 混合物性状

項目	測定値	基準値	
アスファルト量 (%)	5.8	-	
密度	見掛 (g/cm^3)	2.375	-
	理論 (g/cm^3)	2.455	-
アスファルト容積率 (%)	13.3	-	
空隙率 (%)	4.0	3~6	
骨材空隙率 (%)	17.3	-	
飽和度 (%)	76.9	70~80	
安定度 (kgN)	9.6	4.90以上	
フランク値 (1/100cm)	30	20~40	
S / F (100kgf/cm)	32.7	-	

不織布にはその製造方法から、ヒートボンドタイプとニードルパンチタイプのものがあり、それぞれの特徴は以下の通りである¹⁰⁾。

ヒートボンドタイプ・ジオテキスタイル

単繊維としたポリマーを移動ベルトの上に吹き付け、その後加熱ローラ間を通すことによりポリマーが融解し、繊維同士が結合し不織布を構成するもので、繊維のランダムな配向性により全方向に等しい強度を持っている。加熱ローラ間を通すため比較的薄いジオテキスタイルを構成している。

ニードルパンチタイプ・ジオテキスタイル

連続繊維を束ねシート状にした後にとげのついた針で繰り返し刺し、繊維を完全に交錯させ一体化させた不織布である。そのため、比較的厚みを持ったジオテキスタイルとなっている。

本実験で使用したジオテキスタイルはヒートボンドタイプ1種類とニードルパンチタイプ3種類である。

使用したジオテキスタイルの性状および物性を表-1に示す。

b) アスファルト

一般にアスファルト混合物をオーバーレイする場合、既設舗装との接着を高めるためにタックコート

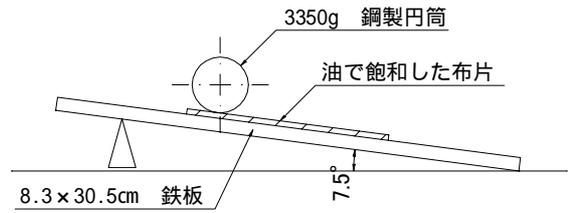


図-1 機械油保有量試験

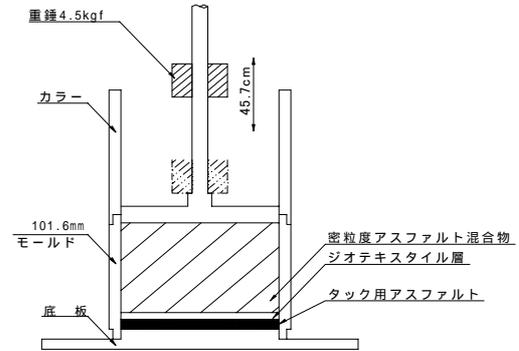


図-2 適正アスファルト使用量試験

としてアスファルト乳剤を散布し、乳剤中の水分が蒸発してからアスファルト混合物を舗装する。しかし、不織布を用いる場合のタックコートについては、不織布が水分を保有しやすいこと、乳剤中の水分が分解するまでの時間的余裕が少ないことから、ストレートアスファルトを使用する機会が多い。本実験で使用したアスファルトの性状を表-2に示す。

c) アスファルト混合物

本実験で使用したアスファルト混合物はアスファルト舗装要綱に示す密粒度アスファルト混合物(13)を使用した。混合物性状を表-3に示す。

(2) 適正タックコート量実験方法

a) 機械油保有量試験

10cm x 25cmの大きさに切った試験布を、21の20Wモーターオイルに2分間浸し、図-1に示す傾斜面に置く。次に3350gの鋼製円筒で斜面を6回転し余剰のオイルを取り除き、試験布に残ったオイル量を試験布の機械油保有量 $(\mu g/m^2)$ とした。

b) 布のアスファルト保留量および面積変化試験

10.3cm x 20.2cmの試験布をタックコート用アスファルト(135 ± 2)中に30分間浸す。その後、135 ± 2の乾燥炉に30分間つり下げ、余剰のアスファルトを滴下させる。次に、24.4 ± 2の恒温室で養生した後、試験布の重量を測定する。その後、38 ± 2のナフサに30分間浸け、アスファルトを除去した後、試験布面積を測定した。

試験布のアスファルト保留量および面積変化率は次式によった。

$$\text{アスファルト保留量 (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{アスファルト重量 (g)}}{\text{試験後の試験布面積 (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{面積変化率 (\%)} = \frac{\text{試験後の試験布面積}}{\text{試験前の試験布面積}} \times 100$$

c) 適正アスファルト使用量試験

図-2に示すマーシャル試験用モールド底版に、160 に加熱したタックコート用ストレートアスファルト (ST60/80) を0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ の割合で均一に塗布し、その上に直径10cmの試験布を敷き広げる。その後、145 の密粒度アスファルト混合物をモールドに詰め、4.5kgランマー (落下高さ45cm) で片面75回突き固める。アスファルト混合物が常温になるのを待ち、アスファルト混合物から試験布を取り除く。試験布を2.5mm x 2.5mmのマスに区切り、アスファルトのしみ出たマス数を測定し、全マス数との比率 (百分率) をアスファルト浸透面積率とした。

d) 接着性試験

コンクリート床版防水工の引張接着試験器を用い接着性試験をおこなった¹¹⁾。供試体 (t=10cm) は、ホイールトラッキング試験用供試体 (t=5cm) にタックコート量を変化させた不織布を置き、その上に密粒度アスファルト混合物 (t=5cm) を敷均しローラコンパクターで締め固めたものを用いた。

(3) 耐久性実験方法

実道でのリフレクションクラックをシミュレートさせるためにホイールトラッキング試験機を利用したクラック発生試験装置を用いた。クラック発生試験装置はリフレクションクラックの発生を促すために図-3に示すように、片側を固定したハリのたわみ構造とし、表面を載荷用ソリッドタイヤが通過させ、載荷車輪の通過回数とクラックの発生状況を観測することとした。なお、供試体側面はクラックの観測を容易にするために白色ペイントを塗布した。

供試体は下層に人為的に4mmのスリットの入ったアスファルト混合物を置き、その上に不織布を敷設した後にアスファルト混合物を置き、ローラコンパクターで閉め固めた。試験条件および供試体寸法を表-4, 表-5, 図-4に示す。

なお、タックコート量は機械油保有量試験より求めた値を中心に前後50%変化させた。

(4) 曲げ試験および透水試験

中心部に不織布を敷設した30cm x 10cm x 5cmの供試体を0 で4時間養生し、供試体温度が一定になった後、曲げ試験 (載荷速度5cm/min) を行った。試験法は「舗装試験法便覧」¹²⁾に準じた。また、曲げ試験は、供試体が破断した後、2mmの変位を与え

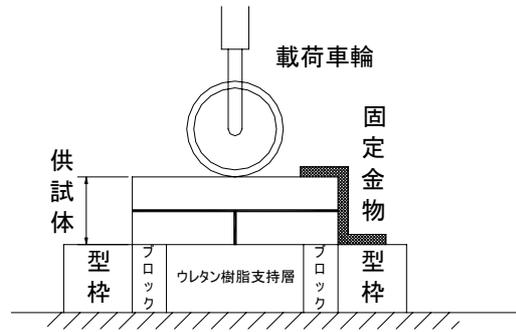


図-3 クラック発生試験装置

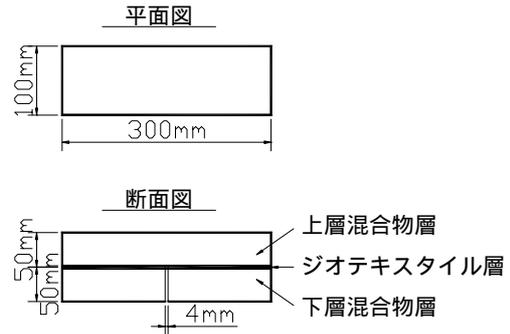


図-4 供試体寸法

表-4 試験条件

試験温度 ()	30	
ソリッド タイヤ	ゴム硬度	78
	外径 (mm)	200
	幅 (mm)	50
	ゴム厚さ (mm)	15
接地厚 (N/mm ²)	0.64	
載荷速度 (回/分)	42	

表-5 供試体の種類

布の種類	タックコート量 ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$)		
無	---	0.4	---
A	0.23	0.45	0.68
B	0.68	1.35	2.03
C	0.43	0.85	1.28
D	0.30	0.60	0.9

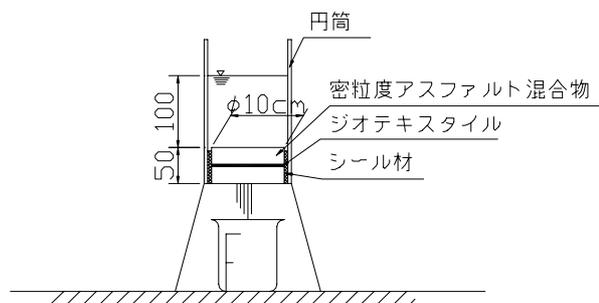


図-5 透水試験装置

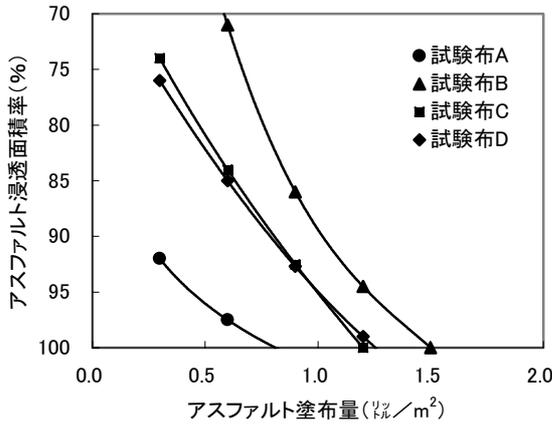


図 - 6 適正アスファルト使用量試験結果

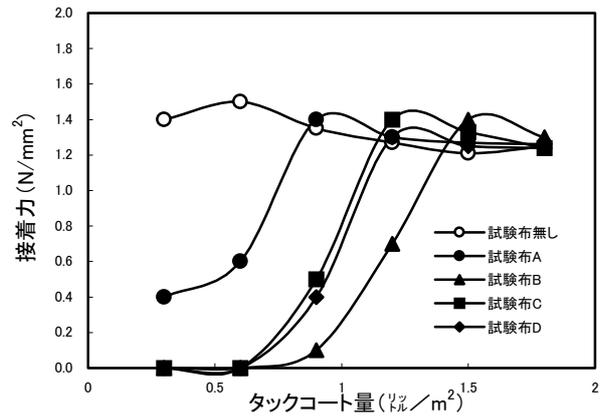


図 - 7 接着性試験結果

表 - 6 適正タックコート量実験結果 (%/m²)

項目	試料			
	試験布A	試験布B	試験布C	試験布D
機械油保有量	0.44	1.28	0.77	0.52
アスファルト保留量		2.25	1.13	0.94
適正タックコート量	0.75	1.50	1.26	1.2

破断後の強さを測定した。

その後、供試体より破断部を中心に直径10cmの供試体をコーポリング機で採取し、図 - 5に示す方法で透水試験を行った。

3. 室内実験結果と考察

(1) 適正タックコート量実験

適正タックコート量を不織布とオーバーレイ層との接着効果および不織布とタックコートの防水効果を有効に作用させるための最小必要量であると定義すると、適正タックコート量は、適正アスファルト使用量試験におけるアスファルト浸透面積100%直後のアスファルト塗布量であるといえる。

図 - 6に適正アスファルト使用量試験結果を示す。アスファルトの浸透面積率は各試験布とも、アスファルト塗布量が増す毎に大きくなり、アスファルト浸透面積率100%の時のアスファルト量を適正タックコート量とすると各試験布の適正タックコート量は表 - 6の通りとなる。

機械油保有量試験結果とアスファルト保留量試験結果を表 - 6に併記する。アスファルト保留量試験において試験布Aは、アスファルト浸積時に繊維が熱で溶け、布の形状が保てず値が得られなかった。適正タックコート量と機械油とは相関係数 $r=0.78$ と余り良い相関を示さなかったが、アスファルト保留量は相関係数 $r=0.997$ と非常によく相関していた。また、試験布の性状と適正タックコート量の関係について調べた結果、適正タックコート量は試験布の重さ W (g/m²) と厚さ T (mm) の積に良い相関を示し下式の相関式が得られた (試験個数 $n=15$) 。

$$y = 1256 (T \cdot W) - 1420.5$$

$$R^2 = 0.999$$

ただし、適正タックコート量は不織布の製造方法により相違が見られ、上式はヒート方式による不織布には適用できない。

接着性試験の結果を図 - 7に示す。タックコート量を増すと各試験布とも接着力が増し、適正タックコート量付近で最も接着力が増している。また、タックコート量が適正量を超え多くなると接着力に余り影響せず逆に若干低下している。これは、余剰のタックコート単体の強度を示したもので、このように余剰のタックコート量が多くなると、層間のすべりが懸念される結果を示すものと考えられる。

(2) 耐久性実験

耐久性実験により得られた載荷輪走行回数とクラック発生状況の関係図を図 - 8~12に示す。

不織布を施した供試体は、載荷輪が繰り返し通過すると供試体表面よりクラックが発生し徐々に深さ方向に進行するが、不織布の施さない供試体は、表面からクラックが発生した後、底部からも発生して供試体の中間でクラックが貫通した。すなわち、復元するたわみの繰り返し載荷によるリフレクションクラックは通常表面および底面から発生し貫通するが、不織布を施した場合、底面からのクラックは抑制され、表面からのみ発生し、徐々に進行して貫通するようである。

また、供試体の表面にクラックの発生する時期およびクラックが貫通する時期をみると、表面にクラックの発生する載荷車輪の通過回数は、不織布の種類およびタックコート量によってバラツキはあるが、不織布有りと無しでは、前者の方が2倍の載荷回数に耐えられるという結果であった。クラックが貫通した時を舗装の破壊と考えると、破壊したときの載荷輪通過回数は、不織布無しのものに比べ不織布を施した供試体では単純平均で約2倍の載荷回数に耐えられる結果となった。

不織布の種類およびタックコート量について比較すると、不織布の種類による有意差は余り認められなかった。

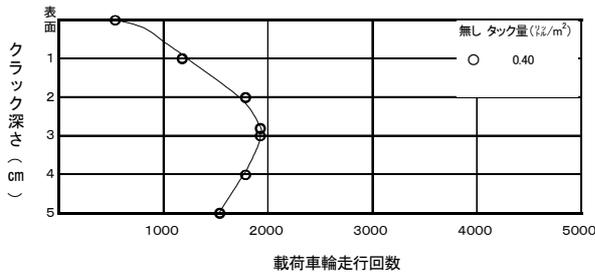


図-8 不織布無しのクラック発生曲線

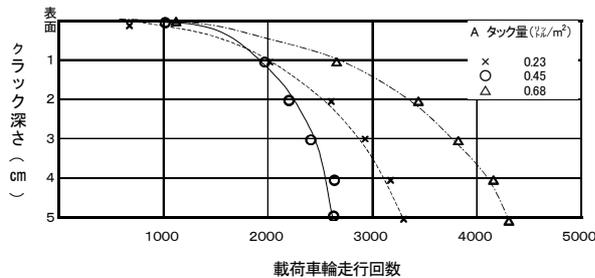


図-9 試験布Aのクラック発生曲線

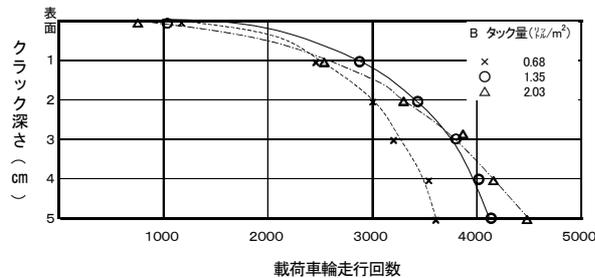


図-10 試験布Bのクラック発生曲線

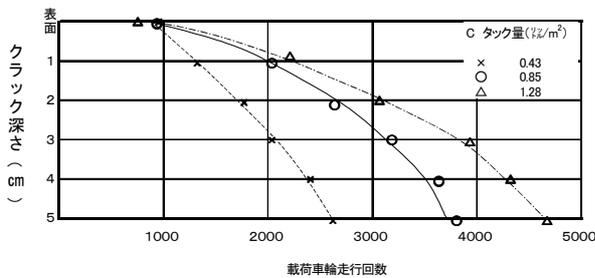


図-11 試験布Cのクラック発生曲線

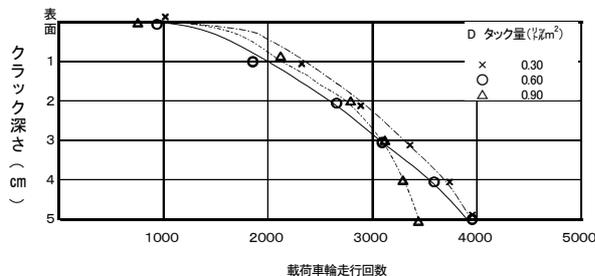


図-12 試験布Dのクラック発生曲線

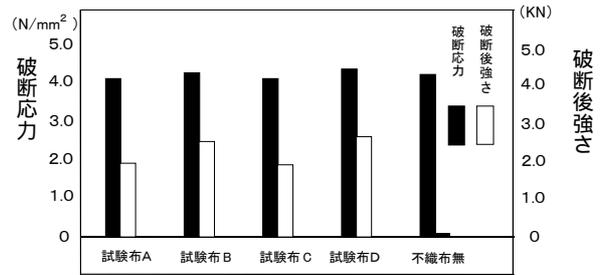


図-13 破断応力と破断後の強さ

表-7 クラック発生後の透水係数

	試験布A	試験布B	試験布C	試験布D	不織布無
透水係数	4.9×10^{-4}	7.3×10^{-7}	7.76×10^{-6}	7.3×10^{-7}	4.4×10^{-2}

タックコート量が多いほど破壊に至る荷重車輪通過回数が多くなるという結果であった。しかし、今回の実験は機械油保有量試験からタックコート量を定めたため、適正タックコート量から見ると全体的にタックコート量は少な目であった。試験布Bで適正タックコート量との関係を見るとタックコート量が適正量を超えても破壊に至る荷重車輪の通過回数は余り伸びていない。アスファルト混合物によるオーバーレイでは、タックコート量が多すぎると層間ですべりが生じたり、わだち掘れの要因になったりする恐れがあり、タックコートの上限值は、本文で云う適正タックコート量と考えることができる。

(3) 曲げ試験および透水試験

アスファルト混合物の脆化点付近である0 における曲げ試験の結果を図-13に示す。なお、タックコート量は、表-6に示す適正タックコート量とした。破断時の応力および歪みは、不織布の有無に余り関係なく一定した値であった。しかし、供試体破断後2mmの変位を与えたときの破断後強さは、不織布のないものは急激に強度がなくなるが、不織布のあるものは一定の強度を保っている。破断後の供試体の透水試験結果を表-7に示す。

不織布の有無により透水試験の結果は大きく異なり、不織布の存在による防水効果が認められる。また、不織布の種類によっても防水効果の差が認められ、試験布Aは、他の不織布に比べ透水係数が大きくなっていった。この原因については、適正タックコート量実験の項でもふれたが、アスファルト混合物の熱で不織布が溶けたことが影響したものとする。

4. 追跡調査

不織布によるリフレクションクラック抑制工法として実施した試験工事報告が報告されている¹³⁾。これはクラックの入ったアスファルト舗装上に平均6cmの密粒度アスファルト混合物をオーバーレイし

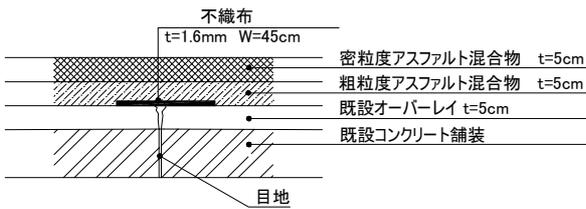


図-14 施工断面

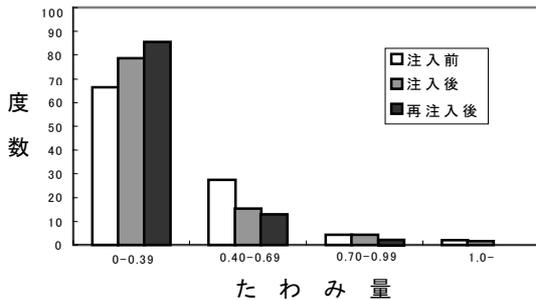


図-15 ブローン注入及び再注入とたわみ量の関係

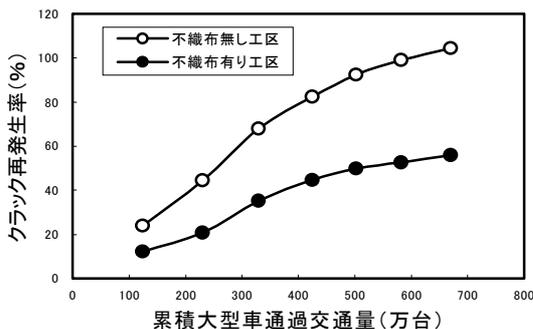


図-16 追跡調査結果

たものでヒートボンドタイプの不織布（厚さ0.574mm）を敷設した区間と、敷設しなかった区間を設け比較したものである。この結果によると27ヶ月供用後、不織布施工区間ではクラックの再発生率7.5%に対し、不織布を敷設していない区間では34.4%もの再発生率があり、不織布の敷設が約4.5倍程度のリフレクションクラック抑制効果があるとされている。

筆者らは、コンクリート舗装上のオーバーレイ工において目地部に不織布を敷設した区間と不織布のない区間を設け、リフレクションクラックの発生率を追跡調査した。施工断面を図-14に示す。

オーバーレイの施工に先立ち、既設コンクリート舗装版のたわみ量を測定し、たわみ量が0.4mmを越える区間については、ブローンアスファルトの注入を行った。ブローンアスファルトの注入前後および再注入後のたわみ量を図-15に示す。再注入後に0.7mm以上のたわみ量を示したコンクリート舗装版についてはアスファルト混合物で打換えた。

図-16に追跡調査における累積大型車交通量とク

ラック再発生率の関係を示す。全体的にたわみ量が大きかったこともあり、施工後1年目からリフレクションクラックが認められた。しかし、不織布の有無によるリフレクションクラックの再発生率をみると、不織布を施していない区間では通過交通量600万台で100%に達しているのに対し、不織布を敷設した区間は50%程度の再発生率であった。リフレクションクラックの再発生率は約2分の1程度となり不織布のリフレクションクラック抑制効果を示しており、室内実験で行った耐久性実験の結果と類似した結果となった。また、当該道路の年間交通量を100万台とすると約4年程度の延命効果が認められる。

5. まとめ

既設舗装の上に不織布を敷設しアスファルト混合物でオーバーレイした場合、耐久性および防水性について室内実験および現場施工の追跡調査結果から、次のようなことが明らかになった。

(1) 最適タックコート量

不織布を敷設する場合の適正タックコート量は、当該実験で行ったマーシャル試験を応用した試験方法でアスファルトの浸透面積100%のタックコート量を適正タックコート量とすることが出来る。機械油保有量試験では相関が少なかったが、アスファルト保留量試験である程度の目安をつけることが出来る。また、ニードルパンチで製造された不織布について、その布の厚さと重量の積に適正タックコート量はよく相関し、布の性状から適正タックコート量を推定することは可能である。

(2) リフレクションクラック抑制効果

不織布を用いたアスファルト混合物のオーバーレイは、通常のオーバーレイに比べリフレクションクラックを抑制する効果があり、また、下部既設舗装面からのクラック伝達を抑える効果がある。室内実験から、クラック貫通までの載荷車輪の通過輪数は不織布の有るものは無いものに比べ、約2倍の通過輪数に耐えることが出来た。

また、現場施工における追跡調査をみてもリフレクションクラックに対して不織布を敷設する場合の優位性は明らかであり、アスファルト舗装についての効果が確認されている。コンクリート舗装の目地部についても約2倍のリフレクションクラック抑制効果が認められた。

(3) 防水機能

不織布を用いたアスファルト混合物のオーバーレイは、クラックが発生しても不織布面で防水機能を有しており、雨水によるアスファルト舗装の劣化や路床路盤の支持力低下を防ぐことが出来、舗装の寿命を延ばす効果がある。

6. おわりに

ジオテキスタイルのリフレクションクラック抑制効果については、意見が分かれる所があった。これは、リフレクションクラックの早期再発生が過去の現場で見られ、その効果に疑義がもたれたものである。しかし、本研究において、室内実験および追跡調査からリフレクションクラックの再発生を遅延させることが確認され、不織布のリフレクションクラック抑制効果を評価することが出来た。

今後の現場への対応としては、リフレクションクラックは現地の舗装体支持力、路面状況により、その効果は大きく影響されるものという点を考慮し施工する必要がある。本研究で行った適正タックコート量についても、現場での設定には路面状況が大きく影響し、路面の凹凸、劣化状況を考慮し加味する必要がある。現時点においては、現行のアスファルト乳剤によるタックコート量（水分は除く）を適正タックコート量にプラスし施工するのが望ましいと考える。

本論文が、今後の現場施工の参考になれば幸いと考える。

参考文献

- 1) 脇坂三郎, 早坂啓, 他2名; AA工法(リフレクションクラック防止工法), 第15回日本道路会議論文集, pp.467-468, 1983
- 2) 門澤忠雄, 金井利宏, 谷本昇; リフレクションクラック抑制対策としてのジオテキスタイル工法の検討, 道路建設, No.531, pp.61-65, 1992
- 3) (社)日本道路協会; 道路維持修繕要綱, 丸善株式会社, 1978
- 4) 阿部長門, 前原弘宣, 丸山輝彦; 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
- 5) 阿部長門, 前原弘宣, 丸山輝彦; 応力緩和層を用いたリフレクションクラック抑制工法の評価及び解析方法, 土木学会舗装工学論文集第4巻, pp.95-102, 1999
- 6) 沼田紀雄, 緑川宏, 他2名; オーバーレイを対象としたリフレクションクラック抑制層の一考, あすふぁるとにゆうざい, No.94, pp.7-13, 1988
- 7) 永井英一, 関口克次; リフレクションクラックの抑制工法(マスチックを応力吸収層とした試験施工), 舗装, Vol.26, No.3, 1991
- 8) 河田久儀, 竹内康二, 越健太郎; ジオグリッドのリフレクションクラック抑制効果, 道路建設, No.550, pp61-67, 1991
- 9) Demonstration Project Division Office of Highway Operation Federal Highway Administration, ; Report on Performance of Fabrics in Asphalt Overlays, 1982
- 10) P.R.ランキラ; 土木繊維(ジオテキスタイルの利用), 山岡一三, 西形達明 共訳, 森北出版, 1984
- 11) 日本道路協会; 道路橋鉄筋コンクリート床版防水工設計・施工資料, 丸善株式会社, pp.91-93, 1987
- 12) (社)日本道路協会; 舗装試験法便覧, 丸善株式会社, pp.562-567, 1988
- 13) 安田勝美, 水取清一, 堀田穂; 舗装(オーバーレイ)におけるジオテキスタイルの利用, ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム発表論文集, pp.157-164, (社)土質工学会, 1990

(2001.7.23 受付)

THE EXPERIMENTAL RESEARCH ON REFLECTIVE CRACKING INHIBITION EFFORT USING NON-WOVEN FABRIC

Takaharu NISHIKAWA, Tatsuaki NIHISGATA, Tomio HARA

The overlay is popular rehabilitation works for the existing asphalt pavement or the cement concrete pavement. But at the early stage the reflective cracks caused the cracks of the existing asphalt pavement or the joints of the cement concrete pavement. We selected the inhibition process using non-woven fabric for reflective cracking that process was easy way at the overlay rehabilitation works. On this report we mentioned the method of establishment for optimum tack coat content, the inhibition efforts of reflective cracking on the laboratory tests, and the evaluation of inhibition efforts from the follow ups on the field.