

# 表基層対応の振動軽減舗装の開発と実路における効果検証

(株)NIPPO コーポレーション 技術研究所 岩間将彦  
 (株)NIPPO コーポレーション 生産技術機械部 杉本憲治  
 (株)NIPPO コーポレーション 生産技術機械部 山岸 宏

## 1. はじめに

振動規制法が昭和51年に施行され、毎年その実態調査が行われている。最近の結果によれば、道路交通振動はその要請限度を概ね達成できているものの、振動に係わる苦情全体の1割程度を占めており<sup>1)</sup>、依然として取り組むべき重要な課題といえる。

その発生原因として、舗装に関して言えば、路面の平坦性不良や路床・路盤の支持力不足などが挙げられる。このため、舗装での対策としては、路面の平坦性向上や舗装構造の強化（路床改良や路盤の強化）等が有効とされている。しかし、路面の平坦性改善による方法は、交通の供用に伴い平坦性が損なわれると、振動軽減効果が持続されなくなる。また、構造強化による方法は、路床または路盤までの厚層打換えを伴うため、多大な費用や長期の工事渋滞を招くなどの問題があり、その実施が困難な場合が多いのが実情である。

そこで、これらの課題を解決するために、より短期間で施工可能な持続性のある表基層対応の振動軽減舗装を独立行政法人土木研究所と共同で開発<sup>2,3)</sup>し、土木研究所走行実験場での試験施工や実路での施工により供用性と振動軽減効果について確認してきた。本論文は、この振動軽減舗装の開発過程の概略を述べた後、これまで実施してきた現場での検証結果を主体に報告するものである。

## 2. 表基層対応の振動軽減舗装の開発<sup>4)</sup>

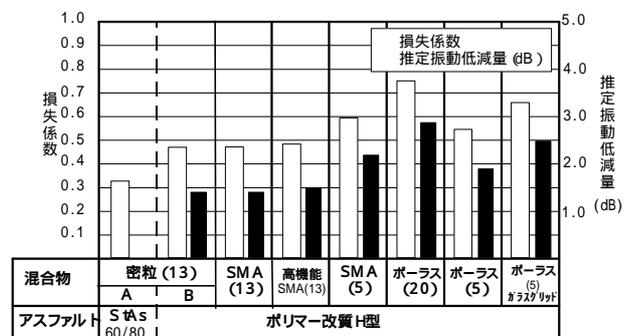
### 2-1 開発方針

本舗装の開発にあたり、表基層は振動減衰性能が高く

平坦性が長期にわたり良好に維持される耐久性の高い舗装構成が有効であると考えた。そこで、まず最初に室内試験から表基層用混合物の振動減衰効果を評価し、その結果をもとに振動減衰性能の高い表基層構成を選定した。その後、土木研究所走行実験場において試験施工を行い、その妥当性を検証した。

### 2-2 室内試験結果

室内試験<sup>2,5)</sup>より得られた各種混合物の振動減衰特性の結果を図-1に示す。図中の損失係数は、幅10cm、厚さ5cm、長さ50cmの供試体を円形のタイヤチューブ上に載せ、電磁励振器によりその供試体中央を加振させて周波数応答関数を測定し、その結果から半値幅法より算出した値である。また、推定振動低減量はストレートアスファルト（以下、ストアス）を使用した密粒度アスファルト混合物（13）（以下、密粒（13））を基準とし、各混合物と密粒（13）の各々の損失係数を用いて、制振材



(注)ガラスグリッドはポーラスアスファルト(5)の供試体の厚さ中央に敷設

図-1 各種混合物の振動減衰特性

における振動低減量の評価式を用いて推定した値である。

図-1 に示すように、砕石マッシュク混合物 (13) (以下, SMA (13)) と同混合物 (5) (以下, SMA (5)), 高空隙のポーラスアスファルト混合物 (20) (以下, ポーラス (20)) はどれもストアスを使用した密粒 (13) よりも大きな損失係数を示しており, 高い振動減衰特性を有している。そのなかでも, ポーラス(20)が最も優れていた。

また, バインダーとしては, ポリマー改質アスファルトH型を使用することでストアスよりも振動減衰性能を向上できる。さらに, 引張強度の高い網目状のガラスグリッドを混合物内に敷設すると, 使用してない同一混合物のものより損失係数が増大することから, 制振シートとしての効果がみられた。

### 2-3 表基層の構成

上記試験結果より, 本舗装は図-2 のように基層にポーラス(20)とSMA(5)を設け, 制振用シートとしてガラスグリッドを敷設した後, 表層に高耐久性のSMA(13)を設ける表基層構成とした。また, バインダーはいずれもポリマー改質アスファルトH型を使用することにした。

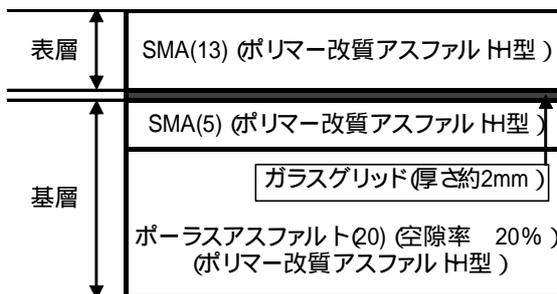


図-2 表基層構成

### 2-4 土木研究所走行実験場での検討結果

表-1 は, 本舗装の振動軽減効果を検証するために, 施工直後と促進載荷試験後 (49 kN 換算輪数 15 万回載荷) に荷重車 (後軸重 117.6 kN) を走行させて試験施工区間 36 m の中央で振動レベルを測定した結果を示したものである。なお, 本舗装と比較対象にした密粒度舗装の表基層構成は表-2 に示すとおりである。

表-1 より, 荷重車の走行位置から約 1 m 離れた地点では, 本舗装は, 密粒度舗装より施工直後で約 1 dB, 促進載荷試験後で約 3 dB 振動レベルが軽減されていることが確認され, 耐久性も良好であった。

以上のことから, 図-2 に示した本舗装の表基層構成は振動軽減効果や耐久性からみて妥当であると判断し, 実路への適用を図ることにした。

表-1 試験施工での振動測定結果

舗装種	測定値		振動軽減効果 (dB)	
	施工直後	促進載荷後	施工直後	促進載荷後
本舗装	65.0	63.1	1.2	3.2
密粒度舗装	66.2	66.3		

注) 振動レベルは荷重車の走行位置より約1m離れた位置での値

表-2 試験施工での表基層構成

	本舗装	密粒度舗装
表層	SMA(13) :40mm	密粒(13) :70mm
基層	上面にガラスグリッド敷設	粗粒(20) :70mm
	SMA(5) 25mm	
	ポ - ラス(20) :75mm	

注) バインダーは本舗装はどれもポリマー改質アスファルトH型を使用  
密粒度舗装はどれもストアスを使用

## 3. 実路における適用事例と追跡調査内容

### 3-1 適用現場の概要

表-3 は, これまで施工した箇所の中で, 供用性や振動軽減効果について供用後まで追跡調査を行った 4 現場の概要を示したものである。現場 A は, 千葉県内の市街地の市道で, 交通量区分は  $N_5$ , 大型車として主にバスが通行している箇所である。現場 B は, 宮崎県内の国道と県道が合流する交通量区分  $N_5$  の T 字路で, ダンプトラックや大型トレーラがその交差点を頻繁に出入り通行する箇所である。現場 C は, 兵庫県内の国道で, 交通量区分は  $N_6$ , 大型車としては主にダンプトラックが通行している急坂路の箇所である。現場 D は, 宮崎県内の県道で, 交通量区分は  $N_6$ , 大型車としては主に現場 B と同様な車両が通行している箇所である。なお, 各現場で施工した本舗装の表基層構成は, 表-3 に示すとおりである。

表-3 追跡調査箇所における本舗装の概要

施工箇所	A/市道	B/国道&県道	C/国道	D/県道	
施工時期	H.17.7	H.19.3	H.19.3	H.19.12	
舗装計画交通量	$N_5$	$N_5$	$N_6$	$N_6$	
施工幅員 (m) <sup>注1)</sup>	6.0	7.1 ~ 10.5 <sup>注2)</sup>	3.6 ~ 5.9	6.0 ~ 8.9	
施工延長 (m)	40	100 <sup>注2)</sup>	180	190	
舗装構成 (mm)	表層 (SMA(13))	40	40	50	
	基層 (SMA(5))	30	25	25	20
	基層 (ポーラス(20))	80	60	60	60

注1) A, B, Dは両側車線, Cは片側車線だけを施工

注2) 記載している数字は国道側の値。県道側の施工幅員は7.0m, 施工延長は50m

### 3-2 各現場における施工方法

各現場の施工は, いずれも図-3 に示すフローのとおり行った。施工では, まず既設舗装を表-3 に示した所定の表基層厚分だけ切削し, その後施工基盤面がアスファルト層となった現場 B, C, D ではタックコートを, 粒状

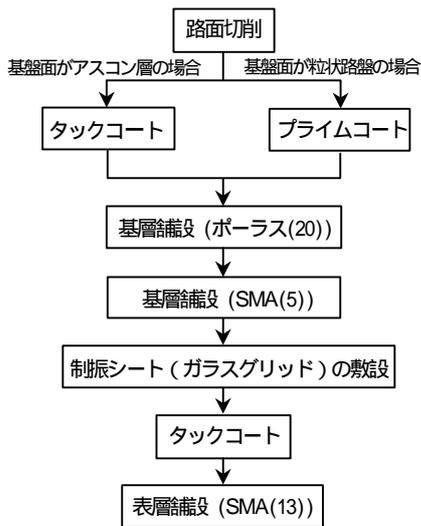


図-3 施工のフロー

路盤となった現場 A ではプライムコートを散布した。次に、基層のポーラス(20)と SMA (5)を施工した。現場 A, B, D では、この段階で一旦交通開放し、ガラスグリッドの敷設とタックコート、表層の舗設は翌日以降に実施した。また、現場 C では、引き続き同じ日に最後の表層までを施工した。なお、ガラスグリッドの敷設は、写真-1 のように人力で敷き広げた後、写真-2 のようにタイヤローラを走行させて基層面との密着を図るようにした。



写真-1 グリッド敷設状況



写真-2 グリッド密着状況

### 3-3 調査項目

#### (1) 調査の概要

各現場での調査は、表-4 に示すように、振動抑振効果の観点から主に路面の平坦性と道路交通振動の測定を

表-4 追跡調査の内容と実施時期

施工箇所		A/市道	B/国道	C/国道	D/県道
路面調査 <sup>注1)</sup>	平坦性、わだち、ひびわれ				
振動調査 <sup>注2)</sup>	最大振動レベル $L_{max}$				
	時間率振動レベル $L_{10}$				
調査時期	施工前				
	施工直後				
	供用1年後				
	供用約2年後				

注1) わだち掘れ及びひび割れは実測または目視観察のいずれかで実施した

注2) 振動計測時間帯

現場 A :10時～24時 現場 B :8時～翌日7時

現場 C :6時～23時 現場 D :8時～翌日7時

交通量調査は現場 A と C で実施した

施工前と施工直後および供用後1年～約2年の時期に行った。ただし、T字路となっている現場 B においては、供用後までの調査は国道部分を対象に行った。

#### (2) 振動測定と振動抑振効果の評価

振動測定は、各現場とも歩道外端（官民境界）の位置で行い、JIS Z 8735 に準拠し、毎正時から10分間（1時間おき）にわたり振動レベル（鉛直方向、体感補正）を測定した。振動抑振効果は各測定時間内の最大振動レベル  $L_{max}$ （全実測値の最大値）と時間率振動レベル  $L_{10}$ （全実測値に対する累積度数曲線での80%レンジの上端値）で評価した。ただし、現場 C では、交通量調査の結果より、 $L_{10}$  に影響する測定時の大型車台数が、施工前よりも施工後と供用約2年後の方が両車線合わせて約100台以上多いことが確認されたため、本現場での振動抑振効果は  $L_{max}$  で評価することにした。

### 4. 追跡調査結果

#### 4-1 供用状況

各現場における路面の平坦性の調査結果を表-5 に示す。なお、表中の網掛け部の  $\sigma$  は、振動測定側の車線の値を示している。この平坦性の結果とひび割れやわだちの発生状況を含めて、各現場毎の状況をまとめると以下のものであった。

現場 A では、供用1年後の平坦性は、施工直後と変化していない。また、わだち掘れは僅か（2mm程度）であり、ひび割れも見られていない。

現場 B では、路面の平坦性は供用2年を経過しても施工直後とほぼ同じ状態で維持されており、ひび割れやわだち掘れも見られていない。ただし、大型トラクタ等が急停止したりする国道と隣接する県道側の交差点巻き込み部分で、一部局所的な路面の凹凸発生箇所が見られた。これは、表層4cm直下に横断排水用カルバートが設置されている箇所に該当している。この影響により大

表-5 路面の平坦性  $\sigma$  の調査結果（単位:mm）

施工箇所	調査時期	左車線	右車線	平均
A/市道	施工前	3.7	6.4	5.1
	施工直後	1.8	2.2	2.0
	供用1年後	1.8	2.2	2.0
B/国道	施工前	2.4	4.2	3.3
	施工直後	1.7	1.9	1.8
	供用約2年後	1.5	2.2	1.9
C/国道	施工前	3.7	-	3.7
	施工直後	1.9	-	1.9
	供用約2年後	1.8	-	1.8
D/県道	施工前	3.3	3.2	3.2
	施工直後	1.6	1.8	1.7
	供用1年後	1.8	2.5	2.2

注 網掛け部分は振動測定側の車線の結果である

型トレーラ等の荷重作用で表層が圧密沈下して発生した  
ものと思われる。

現場Cでは、供用2年後の平坦性は施工直後とほ  
とんど変化ない。ただし、ひび割れは見られていないも  
のの、わだち掘れはやや大きい(8 mm 程度)ところが  
あった。

現場Dでは、供用1年後の平坦性は右車線で施工  
直後よりもやや大きくなっているものの、左車線ではほ  
ぼ同じとなっている、また、ひび割れやわだち掘れは見  
られていない。

以上のことから、一部の現場で埋設構造物の影響によ  
る路面の凹凸が確認されたが、4 現場を通して全体的に  
みれば、本舗装は概ね良好な供用状態が維持されている  
ものと判断できた。

#### 4-2 最大振動レベル $L_{max}$

各現場で測定された  $L_{max}$  の平均値と各時刻毎の値を、  
それぞれ表-6 と図-4～図-7 に示す。これらの結果より、  
以下のようなことがいえる。

現場 A では、図-4 より施工直後の  $L_{max}$  はどの時刻  
でも施工前より小さな値を示しており、本舗装の施工に  
より平均で 10.2 dB 低減されている。また、供用1年後  
においても、その振動軽減効果は持続されており、 $L_{max}$   
は施工直後より若干大きくなっているものの、施工前よ  
りまだ平均で 9.0 dB 小さい結果となっている。

現場 B では、図-5 より、施工直後の  $L_{max}$  はほとん  
どの時刻で施工前より小さな値を示しており、平均値で  
みれば 7.5 dB の振動軽減効果が得られている。ただし、  
供用約2年後においては、 $L_{max}$  は逆に施工前よりやや大  
きな値を示している。これは、4-1 の で述べた、振動  
測定箇所から 10 m 程度離れた位置でカルバートに起因  
して生じていた路面の凹凸が影響したものと考えられる。

現場 C では図-6 より施工直後の  $L_{max}$  は施工前より  
ほとんどの時刻で、現場 D では図-7 よりその  $L_{max}$  はど  
の時刻でも小さな値を示しており、それぞれ平均で 5.8  
dB と 8.0 dB の振動軽減効果が得られている。また、供  
用後においても、施工直後とほぼ同程度の効果が持続さ  
れている。

以上のことから、本舗装の施工により  $L_{max}$  は施工前よ  
り大きく軽減され、供用後も現場 B を除けば  $L_{max}$  の軽減  
効果は施工直後と大きく変わっていないことが確認でき  
た。ただし、現場 B のように埋設構造物が設置されてい  
るような場合には、現場の状況を事前に確認して長期の  
対策を講じておく必要がある。

表-6 各現場の最大振動レベル  $L_{max}$  の平均値

施工箇所	最大振動レベル $L_{max}$ (dB)			
	施工前	施工直後	供用1年後	供用約2年後
A/市道	68.4	58.2 (-10.2)	59.4 (-9.0)	-
B/国道	61.5	54.0 (-7.5)	-	62.2 (+0.7)
C/国道	62.5	56.7 (-5.8)	-	56.7 (-5.8)
D/県道	75.4	67.4 (-8.0)	67.2 (-8.2)	-

注) 現場Cは片側車線のための施工である  
カッコ内は施工前と比較した振動低減量を表す

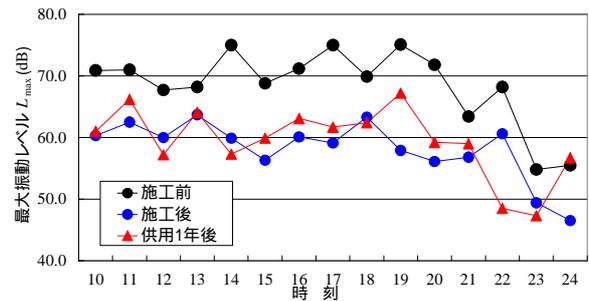


図-4 現場 A の計測毎正時における  $L_{max}$

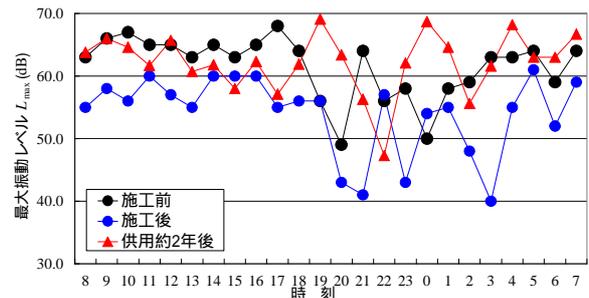


図-5 現場 B の計測毎正時における  $L_{max}$

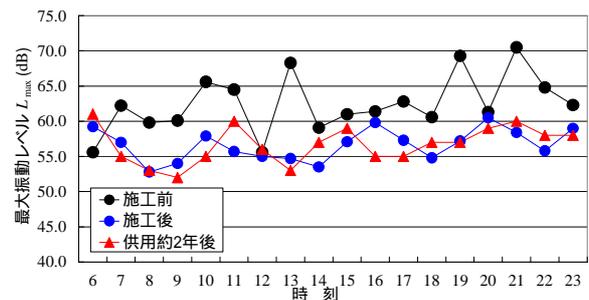


図-6 現場 C の計測毎正時における  $L_{max}$

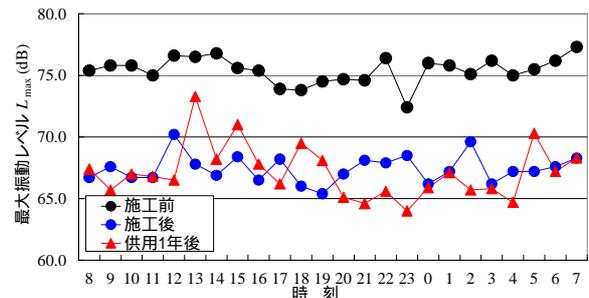


図-7 現場 D の計測毎正時における  $L_{max}$

#### 4-3 時間率振動レベル $L_{10}$

現場 C を除いた 3 現場で測定された  $L_{10}$  の平均値と各時刻毎の値を、それぞれ表-7 と図-8 ~ 図-10 に示す。なお、現場 B の供用約 2 年後においては、深夜の 0 時から 3 時までの  $L_{10}$  の実測値は使用した振動レベル計の測定範囲以下の値(25dB 未満)を示していたため、表-7 や図-9 ではこれらのデータを除外して整理した。これらの結果より、以下のようなことがいえる。

現場 A では、施工直後と供用 1 年後ともに、 $L_{\max}$  の測定結果と同様な傾向がみられている。すなわち、図-8 より、施工直後の  $L_{10}$  はどの時刻でも施工前より小さな値を示し、表-7 の  $L_{10}$  の平均振動低減量 ( $DL_{10}$ ) でみれば 5.8 dB 低減されていることがわかる。また、供用 1 年後においても、施工直後と同程度の 5.5 dB の振動軽減効果が得られている。

現場 B では、図-9 より、施工直後の  $L_{10}$  は  $L_{\max}$  の場合と同様な傾向がみられており、 $DL_{10}$  で 3.7 dB の振動軽減効果が得られている。一方、供用約 2 年後においては、 $L_{\max}$  の場合と異なり、 $DL_{10}$  は 4.2 dB と施工直後よりやや大きくなっている。したがって、 $L_{10}$  でみれば、振動軽減効果は供用後も施工直後と同程度に持続されている。

現場 D では、図-10 より、施工直後の  $L_{10}$  は  $L_{\max}$  の場合と同様にどの時刻でも施工前より小さな値を示し、 $DL_{10}$  で 5.2 dB の振動軽減効果が得られている。また、供用 1 年後では、 $DL_{10}$  は 5.8 dB とやや大きくなっており、振動軽減効果は他の現場と同様に持続されている。

以上のことから、 $L_{\max}$  と同様に本舗装の施工により  $L_{10}$  も施工前より軽減され、その軽減効果は施工直後から同程度のレベルで持続されていることが確認できた。

#### 4-4 本舗装自体による振動軽減効果

上述した  $L_{\max}$  や  $L_{10}$  の振動低減量は、本舗装自体と平坦性改善とによる 2 つの振動軽減効果によって得られたものと考えられる。

道路交通振動  $L_{10}$  の予測式によれば、路面の平坦性等による補正值は  $A \log_{10} \sigma$  のように表され、その係数 A はアスファルト舗装の場合で 8.2 とされている<sup>6)</sup>。これを用いると、平坦性改善による振動低減量  $DL_{10\sigma}$  と本舗装自体による振動低減量  $DL_{10P}$  は、式(1)<sup>7)</sup>、(2)で推定できる。

$$DL_{10s} = 8.2(\log_{10} s_b - \log_{10} s_a) \quad (1)$$

$$DL_{10P} = DL_{10} - DL_{10s} \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_a$  : 施工後の平坦性、 $\sigma_b$  : 施工前の平坦性

表-7 各現場の時間率振動レベル  $L_{10}$  の平均値

施工箇所	時間率振動レベル $L_{10}$ (dB)			
	施工前	施工直後	供用1年後	供用約2年後
A/市道	49.9	44.1 (-5.8)	44.4 (-5.5)	-
B/国道	43.5	39.8 (-3.7)	-	39.3 (-4.2)
D/県道	50.7	45.5 (-5.2)	44.9 (-5.8)	-

注) カッコ内は施工前と比較した平均振動低減量  $L_{10}$  を表す  
現場 B の供用約 2 年後は振動レベル計の測定範囲以下 (25dB 未満) を示した実測値 (0 時 ~ 3 時) を除いて整理した値  
現場 C は 3.3(2) で述べた理由により評価対象外

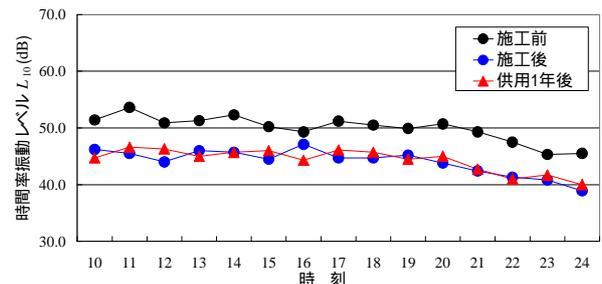


図-8 現場 A の計測毎正時における  $L_{10}$

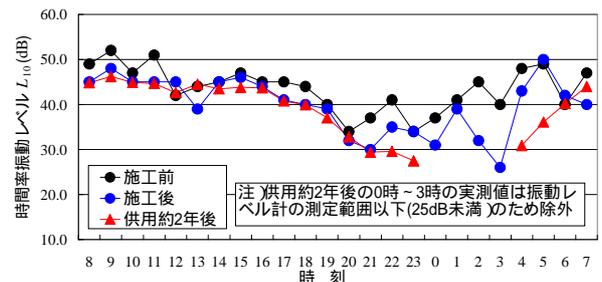


図-9 現場 B の計測毎正時における  $L_{10}$

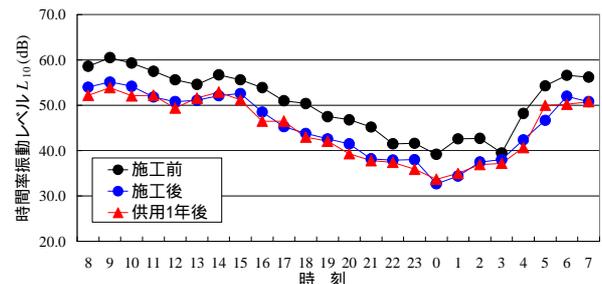


図-10 現場 D の計測毎正時における  $L_{10}$

そこで、表-5 に示した振動測定側の車線の  $\sigma$  の値を用いて、それらを現場 A、B、D について推定してみた。その結果を表-8 に示す。同表より、以下のようなことがいえる。

現場 A では、本舗装の施工により  $L_{10}$  は施工直後で 5.8 dB 低減したが、その内訳は平坦性改善により 3.8 dB、本舗装自体により 2.0 dB 低減したものと推測される。

表-8 各現場における  $L_{10}$  の内訳 (推定結果)

施工箇所	評価項目	施工直後	供用1年後	供用約2年後
A/市道	$\Delta L_{10}$ (dB)	5.8	5.5	-
	$\Delta L_{10\sigma}$ (dB)	3.8	3.8	-
	$\Delta L_{10P}$ (dB)	2.0 (1.5倍)	1.7 (1.5倍)	-
B/国道	$\Delta L_{10}$ (dB)	3.7	-	4.2
	$\Delta L_{10\sigma}$ (dB)	2.8	-	2.3
	$\Delta L_{10P}$ (dB)	0.9 (1.3倍)	-	1.9 (1.8倍)
D/県道	$\Delta L_{10}$ (dB)	5.2	5.8	-
	$\Delta L_{10\sigma}$ (dB)	2.6	2.2	-
	$\Delta L_{10P}$ (dB)	2.6 (2倍)	3.6 (2.6倍)	-

注)  $\Delta L_{10}$  : 時間率振動レベル  $L_{10}$  の実測低減量  
 $\Delta L_{10\sigma}$  :  $L_{10}$  の平たん性改善による推定振動低減量  
 $\Delta L_{10P}$  :  $L_{10}$  の本舗装自体による推定振動低減量  
 カッコ内は平たん性を単に改善した場合と比べた時の本舗装自体による振動軽減効果の増加割合(  $L_{10}$  と  $L_{10s}$  の比)

また、供用1年後では、前述したように、施工直後と比べ、平たん性は変わらず  $L_{10}$  の振動低減量は同程度の 5.5 dB となっている。このため、本舗装自体による  $L_{10}$  の振動低減量は、施工直後と同程度の 1.7 dB であると推測される。これより、 $L_{10}$  の振動低減量で見れば、本舗装を施工したことで、平たん性を単に改善した場合よりも、施工直後と供用1年後ともに、1.5 倍程度大きな振動軽減効果が得られているものと判断できる。

現場 B では、本舗装の施工により、 $L_{10}$  は施工直後では 3.7 dB 低減したが、その内訳は平たん性改善により 2.8 dB、本舗装自体により 0.9 dB 低減したものと推測される。また、供用約2年後では、施工直後と比べ平たん性は同じ程度で  $L_{10}$  は 4.1 dB 低減していたため、平たん性改善により 2.3 dB、本舗装自体により 1.9 dB 低減したものと推測される。これらより、本現場では、平たん性を単に改善した場合に比べ、施工直後で 1.3 倍程度、供用後約2年後では 1.8 倍程度大きな振動軽減効果が得られているものと判断できる。

現場 D では、 $L_{10}$  は施工直後で 5.2 dB、供用1年後で 5.8 dB 低減した。したがって、平たん性改善と本舗装自体による  $L_{10}$  の振動低減量は、施工直後ではどちらも 2.6 dB となり、供用1年後ではそれぞれ 2.2 dB と 3.6 dB と推測される。これより、本現場では、平たん性を単に改善した場合に比べ、施工直後では 2 倍程度、供用1年後では 2.6 倍程度大きな振動軽減効果が得られているものと判断できる。

以上のことより、本舗装自体の効果は各現場の状況によって異なるものの、平たん性を単に改善する場合より振動は大きく軽減され、供用後もその効果が持続されていることが確認できた。

## 5. まとめ

表基層対応の振動軽減舗装を開発し、その供用性と振動軽減効果を検証するために、4 箇所の現場で追跡調査を実施した。その結果、調査時点での供用期間は1年から約2年とまだ短いものの、以下のことが確認できた。

路面の平たん性はどの現場も供用後大きく変わっていない。また、ひび割れや一箇所の現場を除けば特に大きなわだち掘れはみられていない。これより、全体的にみれば、本舗装は概ね良好な供用状態が保たれている。

本舗装の施工により、最大振動レベル  $L_{max}$  や時間率振動レベル  $L_{10}$  はともに施工前より小さくなっており、それらの振動軽減効果は一箇所の現場の  $L_{max}$  の場合を除けば供用後においても十分持続されている。

本舗装で得られた振動軽減効果は、平たん性改善によるものと本舗装自体によるものである。このため、本舗装自体による振動軽減効果を推定した結果、 $L_{10}$  の振動低減量で見れば、平たん性を単に改善した場合よりも、施工直後で 1.3 ~ 2 倍程度大きな振動軽減効果が得られており、供用後も同等以上の効果が持続されている。

## 6. おわりに

これまで施工してきた市街地道路や、県道、国道における追跡調査により、本舗装の概ね良好な供用性や振動軽減効果が確認できた。しかし、今回の調査は、現場数もまだ少なく、また供用開始から約1~2年と短い期間での結果である。このため、今後も引き続き数多くの現場で追跡調査を重ね、長期にわたる本舗装の供用性と振動軽減効果の持続性について検証していきたいと考える。

最後に、本舗装の開発や現場の提供ならびに施工にご協力を戴いた関係各位に対して深く謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 環境省水・大気環境局大気生活環境室：平成 17 年度振動規制法施行状況調査について、2006.12
- 2) 新田：振動軽減型舗装の開発、舗装、pp.26-30、2004.1
- 3) 独立行政法人土木研究所ほか：交通振動の軽減のための舗装技術の開発共同研究報告書、共同研究報告書第 290 号、2003.2
- 4) 尾本ほか：表基層対応の振動軽減舗装の開発と適用事例、北陸地方建設事業推進協議会「建設技術報告会報文集」pp.53-56、2007.11
- 5) 尾本ほか：アスファルト混合物の振動減衰特性に関する検討、土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集第 V 部門、pp.5-6、2002
- 6) (社)日本騒音制御工学会編：地域の環境振動、技報堂出版、2001.3
- 7) (社)日本道路協会：舗装性能評価去別冊、p.88、2008.3