

### 3. 二層式低騒音舗装の破損実態と使用材料の品質との関係

Relationship between the damage situation and the quality of materials used  
of two-layer low-noise pavement

技術支援課 橋本喜正、田中輝栄、峰岸順一

#### 1. まえがき

東京都では、平成 7 年度から低騒音舗装を本格実施し、平成 17 年度からは沿道環境対策法が適用される環状 7 号線や環状 8 号線等において、さらなる騒音低減効果のある二層式低騒音舗装を導入し、騒音規正法の要請限度超過地点、さらには環境基本法における環境基準超過地点の解消に取り組んでいる。二層式低騒音舗装の累積延長は平成 24 年度末現在で約 50km になっており、着実に施工延長が増加している。

二層式低騒音舗装の破損については、骨材の飛散による表面の荒れ（以下面荒れという）、アスファルト分等の付着やアスファルト分過多状態が見受けられたことから、本格導入された初期段階から破損実態調査を行ってきた。本文では、二層式低騒音舗装の追跡調査と二層式低騒音舗装の上層に使用する高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型混合物のアスファルト及び混合物性状の性能評価試験を行い、破損実態と対応させて品質規格（案）を設定した結果を報告する。

#### 2. 調査内容

##### (1) 破損実態調査

二層式低騒音舗装の破損実態調査は、歩道側からの目視観察で行い、破損実態を記入シートに整理し、とりまとめた。供用年数や使用材料、品質管理データと破損実態調査の各項目を突き合わせ、破損の実態を確認するとともに、進行、破損のメカニズムについて分析を行った。調査項目と状況の分類は以下のとおりとした。

##### 1) 調査項目

調査項目は、①ひび割れ（横断、縦断、亀甲状、構造物に起因するもの、ドレーン設置箇所直上のひび割れ）（写真-1～3）、②段差修正、③パッチング、④シーリング、⑤部分補修、⑥アスファルト分過多状態（油）、⑦アスファルト分等の付着（写真-4）、⑧ポットホール（写真-5）、⑨コア抜き跡、⑩面荒れ（写真-6）、⑪骨材飛散（写真-7）、⑫わだち掘れ、⑬傷、⑭表面処理補強（写真-8）、⑮空隙詰まり、⑯汚れ、⑰その他特異な破損など、⑱マンホール、⑲施工ジョイント、⑳排水パイプとした。

##### 2) 調査箇所の状況の分類

調査箇所の状況の分類は、①局部か全体か、②施工箇所全体にランダムに発生か、③単路部、④交差点流入部の停車箇所、⑤車線（右折レーンなど交通滞留箇所）、⑥交差点部内、⑦信号のない車両出入り口部、⑧大型車・バスの出入り、⑨交通の質と量、⑩燃料油、潤滑油の飛散状況、⑪その他特異と考えられる点とした。

##### 3) 調査箇所

調査箇所は、平成 19 年度に施工された二層式低騒音舗装 18 箇所、平成 22 年度に施工された二層式低騒音舗装 12 箇所の合計 30 箇所である。

##### 4) 調査方法

破損状態を歩道および交差点横断歩道から目視調査を行い、10m ごとに、車線別の破損位置、破損形態、規模等を記録した。



写真-1 横断クラック



写真-5 ポットホール



写真-2 縦断クラック



写真-6 面荒れ



写真-3 亀甲状クラック



写真-7 骨材飛散



写真-4 アスファルト分等の付着



写真-8 表面処理補強

(2) 高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型混合物のアスファルトの性能評価試験

本試験は、東京都における二層式低騒音舗装の上層アスファルト混合物に使用されている高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型のうち代表的な 5 種類 (A~E) を用い、曲げ試験およびダイナミックシアレオメータ (DSR) 試験を実施し、比較および破損頻度との関連性を検討した。

試験項目の概要を表-1 に示す。

表-1 試験概要

試験項目	試験方法	供試体の種類	備考
ポリマー改質アスファルトの曲げ試験	舗装調査・試験法便覧(A063T)	5種類	n=3 計15個
ダイナミックシアレオメータ試験 (DSR)	舗装調査・試験法便覧(A062T)		

1) アスファルトの曲げ試験

選定された高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型の曲げ試験により、最大曲げ応力と最大曲げひずみを測定し、曲げ仕事量および曲げスティフネスを求めた。

試験方法は、「舗装調査・試験法便覧 A063T」に準拠した。

曲げ試験の試験条件を表-2 に、曲げ試験状況を写真-9 に示す。

表-2 曲げ試験の試験条件

供試体寸法	長さ120mm×幅20mm×厚さ20mm
支点間距離	L=80mm
試験温度(養生)	-20℃
载荷速度	100mm/min



写真-9 曲げ試験状況

2) ダイナミックシアレオメータ (DSR) 試験

曲げ試験で使用した 5 種類の高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型を用いて DSR 試験を行った。試験方法は、「舗装調査・試験法便覧 A062」に準拠した。

DSR 試験は、動的粘弾性の測定機器として動的粘弾性測定装置 (AR1000、TA インストルメント社製) を使用した。動的粘弾性測定にはいくつかの測定方法があるが、本調査では 2 つの平行円盤にサンプルを挟み、正弦波で振動させたときのトルクを上部で測定する方法を用い、複素弾性率  $|G^*|$  や損失正接  $\tan \delta$  等を求めた。

試験概要を表-3、外観を写真-10 に示す。

ここでは、試験温度 60℃ 時の粘弾性パラメータ (複素弾性率  $|G^*|$ 、 $|G^*| \cdot \sin \delta$ 、 $|G^*| / \sin \delta$ 、損失正接  $\tan \delta$ 、せん断応力  $\tau$ ) を測定した。測定したパラメータの特性を以下に示す。

$|G^*|$  (複素弾性率) : 複素弾性率の絶対値が物質の硬さに相当する

$|G^*| \cdot \sin \delta$  : 疲労ひび割れ抵抗性の指標で値が大きくなる (硬くなる) と破損頻度が高いとされる

表-3 DSR 試験の試験概要

形式	動的粘弾性測定装置 AR1000 TAインストルメント
測定方法	せん断測定
検出器	トルクトランスデューサ
周波数	10rad/s (1.59Hz)
ひずみ	5%
トルク範囲	0.01~100rad/s
測定温度	60℃
試験治具の直径	25mm
試料の厚さ	2mm



写真-10 DSR 試験 動的粘弾性測定装置の外観

$|G^*|/\sin \delta$  : 永久変形抵抗性の指標で動的安定度 (DS) との相関性が高いとされ、値が大きいほど変形抵抗性に優れているとされる

$\tan \delta$  (損失正接) : 粘性的か弾性的かの判断指標とされ、値が小さいほど弾性的なことを意味する

### (3) 高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型混合物のねじり骨材飛散試験

二層式のポーラスアスファルト混合物 (厚さ: 上層 2cm + 下層 3cm = 5cm) の供試体を作成し、ねじり骨材飛散試験を行った。試験方法は、「舗装性能評価法別冊 (社) 日本道路協会 (1-3 ねじり骨材飛散値の評価に用いる測定方法)」に準拠した。

#### 1) ポーラスアスファルト混合物の配合設計

本試験を行うに当たり、上層・下層用混合物の骨材及びアスファルト量を統一した配合とすることを目的に、選定した 5 種類のアスファルトから 1 種を選び配合設計を行った。下層用混合物 (ポーラスアスファルト混合物 13 mm TOP) は、ポリマー改質アスファルト H 型を使用し、上層用混合物 (ポーラスアスファルト混合物 5 mm TOP) は、高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型で配合設計を行い、選定されたアスファルト 5 種類に置き換えて混合物を作製した。

配合設計に使用した代表のアスファルトの物理性状を表-4 に、作製した混合物性状を表-5 に示す。

下層 30mm 程度、上層 20mm 程度、締固め度が  $100 \pm 1\%$  の適切な供試体を作成できていることを確認した後に、各種のアスファルトの供試体を作成した (写真-11)。

#### 2) ねじり骨材飛散試験の概要

ねじり骨材飛散試験機の構成を図-1、写真-12 に示す。試験機のタイプは、供試体が旋回し供試体表面にねじりが作用する機構のタイヤ旋回タイプ B を用いた。

ねじり骨材飛散試験の試験条件を表-6 に示す。また、試験に用いたタイヤを写真-13 に示す。

試験回数は、1 種類の混合物に対して 3 回とした。供試体は試験用の型枠に入れて固定し、 $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  に保った恒温室 (ねじり骨材飛散試験室) で 5 時間以上養生した後、供試体を試験機に設置し行った。試験は、試験開始前と測定開始 30 分おきに飛散した骨材を取

表-4 高耐久性ポリマー改質アスファルト H 型の物理性状

試験項目	試験規格	試験結果	試験方法	
針入度 (25°C)	1/10mm	40以上	50	舗装調査・試験法便覧 A041
軟化点	°C	80以上	90.5	舗装調査・試験法便覧 A042
伸び度 (15°C)	cm	50以上	89	舗装調査・試験法便覧 A043
伸び度 (4°C)	cm	-	51	舗装調査・試験法便覧 A043
フラス脆化点	°C	-20以下	-29	舗装調査・試験法便覧 A043
引火点	°C	280以上	335	舗装調査・試験法便覧 A045
薄膜加熱質量変化率	%	0.3以下	-0.03	舗装調査・試験法便覧 A046
薄膜加熱針入度残留率	%	75以上	98.7	舗装調査・試験法便覧 A046
タフネス (25°C)	N·m	20.0以上	28.2	舗装調査・試験法便覧 A057
テナシティ (25°C)	N·m	15.0以上	21.8	舗装調査・試験法便覧 A057
60°C粘度	$10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	4.00以上	10.00以上	舗装調査・試験法便覧 A051
粗骨材の剥離面積	%	5以下	0	舗装調査・試験法便覧 A051
曲げひずみ (-20°C)	nm/mm	$80 \times 10^{-3}$ 以上	$163 \times 10^{-3}$	舗装調査・試験法便覧 A051
密度 (15°C)	$\text{g}/\text{cm}^3$	報告	1.027	舗装調査・試験法便覧 A049

表-5 上層用混合物 (ポーラスアスファルト混合物 5 mm TOP) の混合物性状

配合種	項目		決定配合	基準値/目標値
	項目	決定配合		
骨材配合比率	7号碎石 (%)	88.0	88.0	-
	砕砂 (%)	7.0	7.0	-
	石粉 (%)	5.0	5.0	-
	計 (%)	100.0	100.0	-
2.36mm通過質量百分率 (%)		11.5	11.5	-
最適アスファルト量 (%)		4.7	4.7	-
マシニカル値	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.0	2.0	-
	空隙率 (%)	21.6	21.6	21.5程度
	安定度 (kN)	6.4	6.4	4.0以上
	70-値 (1/100cm)	38.0	38.0	-
	残留安定度 (%)	98.4	98.4	-
透水係数 (cm/sec)		$3.31 \times 10^{-1}$	$3.31 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10^{-2}$ 以上
動的安定度 (mm/回)		7000.0	7000.0	3000以上
カンパロ損失率 (-20°C) (%)		7.9	7.9	-
耐ねじり骨材飛散性能		高耐久性H型 >H型	高耐久性H型 >H型	-
剥離率 (%)		0.0	0.0	-

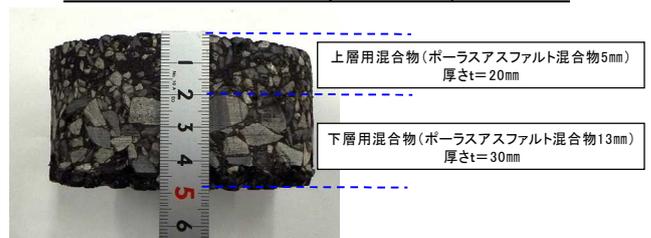


写真-11 供試体作製後の切り取り供試体断面

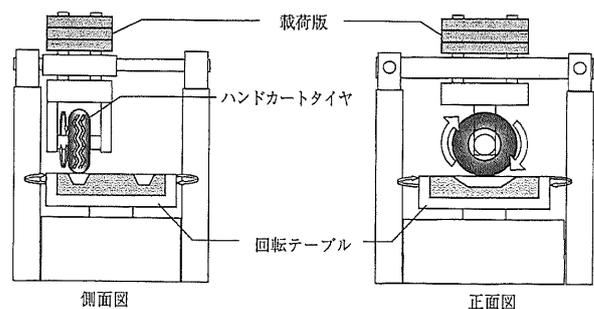


図-1 ねじり骨材飛散試験機 (タイプ B)

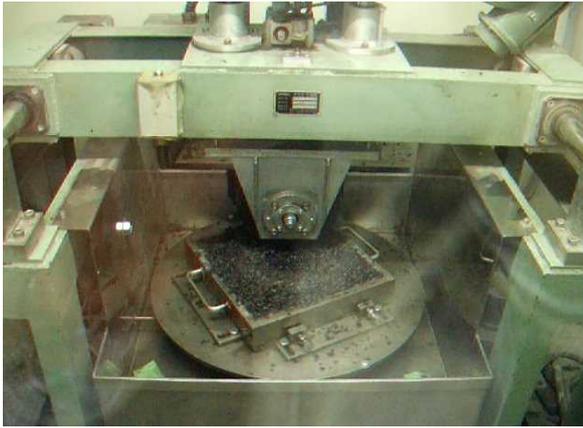


写真-12 ねじり骨材飛散試験機

表-6 ねじり骨材飛散試験の試験条件

項目		タイヤ回転タイプB
試験用 タイヤ	形式	ハンドカートタイヤ
	寸法	直径200×幅65mm
	トレッドパターン	リブラグパターン
	載荷荷重	490N(接地圧0.43MPa)
テーブル回転数		10.5回/分
走行半径		7.5cm
試験温度		50°C±2°C
試験時間		120分



写真-13 試験用タイヤ (ハンドカートタイヤ)

り除き供試体の質量を瞬時に測定した。なお、試験用タイヤの使用については、アスファルトごとに新タイヤに交換をして試験を実施した。

### 3. 調査結果

(1) 破損実態調査結果 平成 19 年度施工分 (供用 5 年)

#### 1) 破損実態

平成 19 年度に施工された二層式低騒音舗装 18 箇所

の調査結果の各破損の割合を図-2 に示す。主な傾向は次のとおりであった。

①破損件数の合計は 5,494 件であった。

②破損形態の内訳は、面荒れが 59.5%と最も多く、次いでアスファルト分等の付着 16.6%、クラック 5.6% (横断、縦断、亀甲状、構造物、施工ジョイントの開きを含む)、骨材飛散 5.1%、わだち掘れ 4.7%、傷 2.8%の順であった。

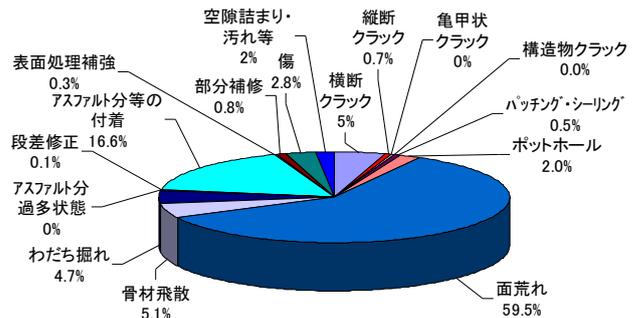


図-2 破損件数の割合 (平成 19 年度施工)

#### 2) 主な破損の分析 (面荒れ)

面荒れの発生箇所を図-3 に示す。面荒れの発生箇所の内訳は、単路部 83%、交差点周辺 (交差点内、交差点手前 40m以内) 17%となっている。この結果をみると、単路部に多く発生しているように見えるが、路線全体に占める割合が違うことから、実際は交差点周辺では約 100%となる面荒れになっている。よって、破損レベルについては、単路部と交差点周辺に分けて評価を行った。

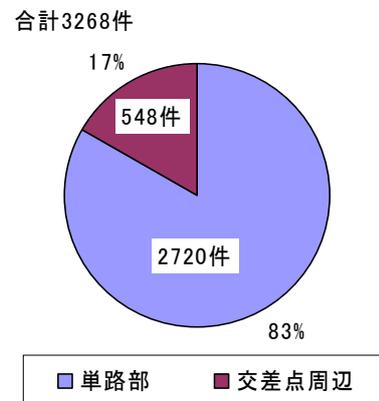


図-3 面荒れの発生箇所

単路部、交差点周辺の破損レベルを図-4、5 に示す。この破損レベルの評価水準を表-7 に示す。

表-7 面荒れの破損レベルの評価水準

低	骨材一つ分の厚みの飛散が全体に広がっている段階
中	レベル低に加え、骨材二つ分の以上の厚みの飛散が生じている段階
高	骨材二つ分の以上の飛散箇所が全体に広がっている段階。ポットホールの一歩手前

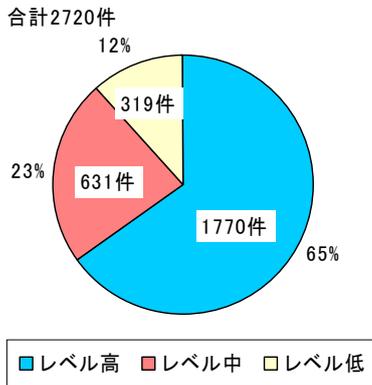


図-4 面荒れ（単路部）の破損レベル

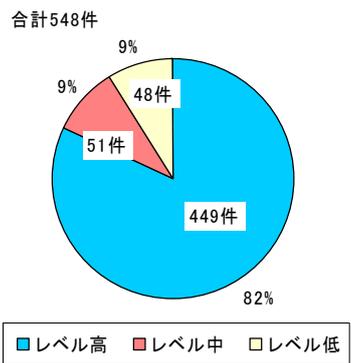


図-5 面荒れ（交差点周辺部）の破損レベル

①図-2 に示すように、面荒れの合計は 3,268 件であり、破損全体の 59.5%と最も多かった。

②図-4 に示すように、単路部の面荒れの破損レベルは、レベル高が 65%を占めており、レベル中は 23%、レベル低は 12%であった。単路部の面荒れは車線全体がほとんどであるが、車輪通過位置の OWP、IWP 位置にも多く発生していた。

③図-5 に示すように、交差点周辺の面荒れの進行レベルは、レベル高が 82%を占めており、レベル中は 9%、レベル低は 9%であった。これは、右左折によるねじり、すえぎり作用による骨材飛散が大きな原因と判断され、また、車両の発進加速時に作用するタイヤ回転応力によるものと考えられる。

表-8 クラックの破損レベルの評価水準

	クラックの開き
小	3mm以下
中	4~6mm
大	7mm以上

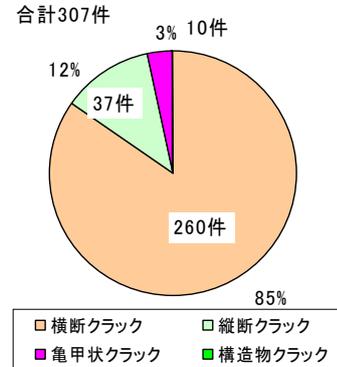


図-6 クラックの種類

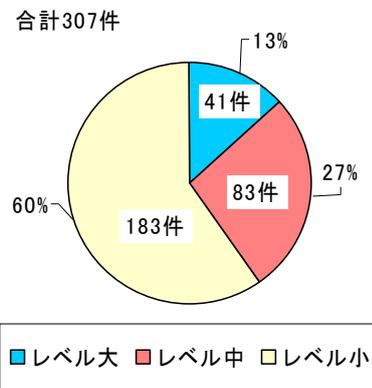


図-7 クラックの破損レベル

### 3) 主な破損の分析（クラック）

クラックの種類の内訳を図-6 に、破損レベルの内訳を図-7 に示す。この破損レベルの評価水準を表-8 に示す。

①図-6 に示したように、クラックの合計は 307 件であり、破損全体では 5.7%を占めた。

②クラックの内訳は、横断クラック 85%、縦断クラック 12%、亀甲状クラック 3%、構造物クラック 0%であった。

③クラックの進行レベルは、レベル大 13%、レベル中 27%、レベル小 60%であった。

### 4) 主な破損の分析（わだち掘れ）

わだち掘れの破損レベル（全体）の内訳を図-8 に、単路部の破損レベルを図-9 に、交差点部の破損レベルを図-10 に示す。また、評価水準を表-9 に示す。

表-9 わだち掘れの破損レベルの評価水準

低	1cm未満
中	1cm以上～3cm未満
高	3cm以上

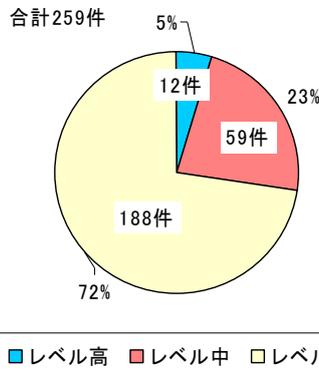


図-8 わだち掘れの破損レベル (全体)

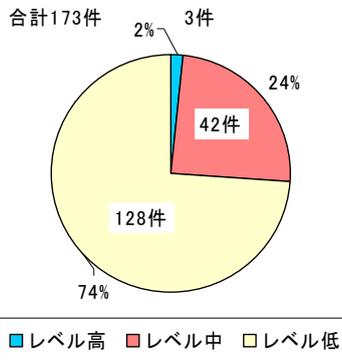


図-9 わだち掘れの破損レベル (単路部)

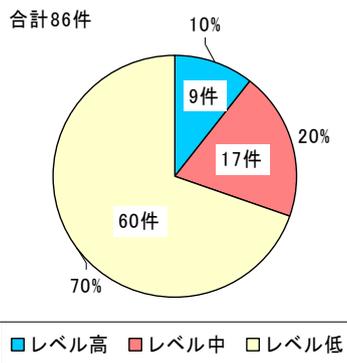


図-10 わだち掘れの破損レベル (交差点周辺部)

①わだち掘れの合計は 259 件であり、破損全体では 4.7%であった。

②全体のわだち掘れ量の進行レベルは、レベル低が 72%を占めており、レベル中は 23%、レベル高は 5%であった。

③単路部のみの破損レベルでは、レベル高 2%、レベル中 24%、レベル低 74%とわだち掘れは、単路部で

も発生しており、路線によっては同じ車線を大型車が 多く通行する状況となっている箇所もあり、わだち掘れの起因となっていた。

交差点周辺 (交差点内・交差点手前) は、レベル高 10%、レベル中 20%、レベル低 70%で進行しており、約 80%は交差点手前 40m区間に発生していた。

### 5) 経年変化による破損実態の変化

平成 19 年度施工箇所について、平成 20 年度調査 (供用 1 年後) および平成 24 年度調査 (供用 5 年後) の破損件数の比較結果を図-11 に、各破損の構成比の供用年数による比較を図-12 に示す。

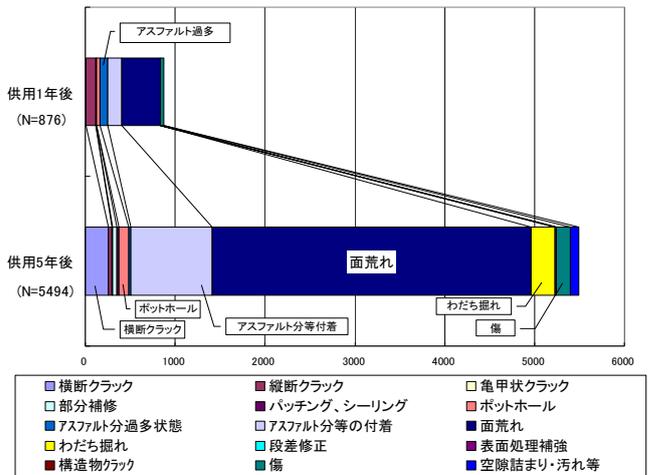


図-11 破損件数の比較

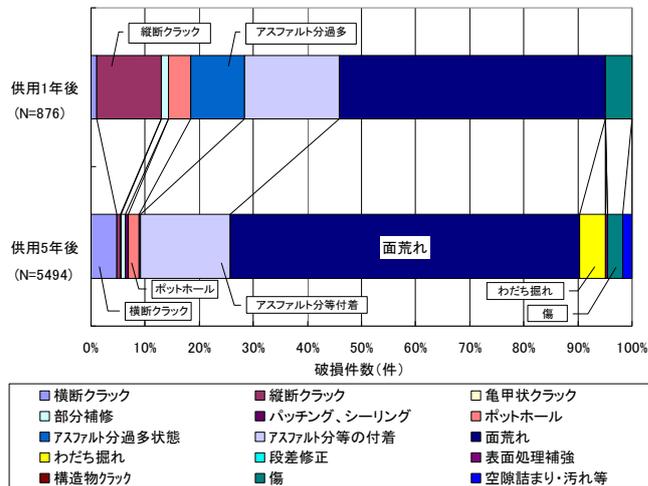


図-12 各破損の構成比

①全体の破損件数の合計の比較では、平成 20 年度調査は 876 件、平成 24 年度調査は 5,494 件で、約 6 倍増加した。

②破損形態の内訳の合計の比較では、平成 20 年度調査は面荒れが 431 件と最も多く、次にアスファルト等付着が 153 件、傷が 43 件、アスファルト分過多状態が

88件、ポットホールが35件であった。また、平成24年度調査は面荒れが3,268件と最も多く、次にアスファルト等付着が912件、わだち掘れが259件、傷が156件、ポットホールが110件であった。

平成20年度調査のアスファルト分過多状態が88件に対して平成24年度調査では17件と減少となった原因としては、面荒れによりアスファルト分過多状態が消滅していったものと考えられる。

③主要な破損の構成比率が高いのは、平成20年度と平成24年度調査の両者とも、面荒れ、アスファルト分等の付着であった。

④破損の構成比率の内訳は、平成20年度調査は面荒れが49.2%と最も多く、次にアスファルト分等の付着が17.5%であった。また、平成24年度調査は面荒れが63.8%と最も多く、次にアスファルト分等の付着が17.8%と両破損とも急激に増加している。

⑤平成24年度調査の破損では、平成20年度には見られなかったわだち掘れ、亀甲クラック、段差修正、表面処理補強が見られた。また、横断クラック構成比が増加した。

## (2) 破損実態調査結果 平成22年度施工分（供用2年）

平成22年度に施工された二層式低騒音舗装12箇所の各破損の割合を図-13に示す。

①平成22年度施工箇所における破損件数の合計は、3,098件であった。

②破損形態の内訳は、面荒れが67.5%と最も多く、次いでアスファルト分等の付着13.8%、骨材飛散7.9%、クラック3.7%（横断、縦断、亀甲状、構造物、施工ジョイントの開きを含む）、傷2.1%の順であった。

### (3) アスファルトの性能評価試験結果

#### 1) 曲げ試験結果

高耐久性ポリマー改質アスファルトH型の曲げ試験結果を表-10に、曲げひずみと曲げスティフネスとの関係を図-14に示す。

以上の結果から、以下のことがわかった。

・曲げひずみはCの $213 \times 10^{-3}$ が最も大きく、試験中に供試体が破断したDが $49.4 \times 10^{-3}$ と最も小さい値となった。

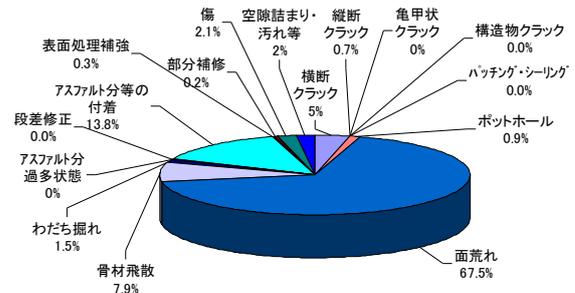


図-13 破損件数の割合（平成22年度施工）

表-10 曲げ試験結果

項目	A	B	C	D	E
針入度 (1/10mm)	51	46	55	25	45
軟化点 (°C)	90.5	99.0	94.5	104.5	94.0
曲げひずみ ( $\times 10^{-3}$ mm/mm)	177.3	177.5	213.0	49.4	192.0
曲げ仕事量 (kPa)	1,714	1,345	1,248	384	1,506
曲げスティフネス (MPa)	54	43	28	158	41

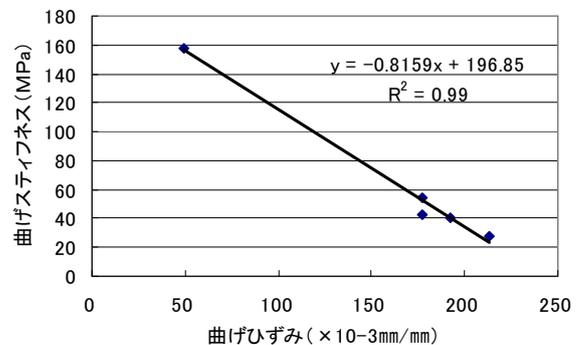


図-14 曲げひずみと曲げスティフネスとの関係

・曲げひずみ、曲げ仕事量および曲げスティフネスが、アスファルトによって差異が認められた。

・既存調査・研究<sup>2)</sup>と同様に、曲げ仕事量大きいアスファルトは、曲げスティフネスが小さくなる傾向が認められた。

・アスファルト曲げひずみと曲げスティフネスとの相関性は高いことがわかった。

・アスファルト曲げ試験では、曲げ仕事量が1,000kPa以下で破断する傾向が見られた。

・針入度との関連は高く、針入度は40(1/10mm)以上、仕事量は1,000kPa以上の基準値が妥当と考えられる。

#### 2) DSR試験結果

高耐久性ポリマー改質アスファルトH型5種類のDSR試験結果を表-11に示す。また、 $|G^*| \cdot \sin \delta$ （疲労ひび割れ抵抗性の指標）とせん断応力 $\tau$ の関係を図-15に、

表-11 DSR 試験結果

項目	A	B	C	D	E
複素弾性率 $ G^* $ (Pa)	4,886	6,363	3,984	18,490	6,769
$ G^*  \cdot \sin \delta$ (Pa)	2,868	3,700	2,404	9,968	3,134
$ G^* /\sin \delta$ (Pa)	8,329	10,940	6,604	34,300	14,641
損失正接 $\tan(\delta)$	0.72	0.71	0.75	0.63	0.56
せん断応力 $\tau$ (Pa)	243.6	318.0	198.9	962.9	339.1

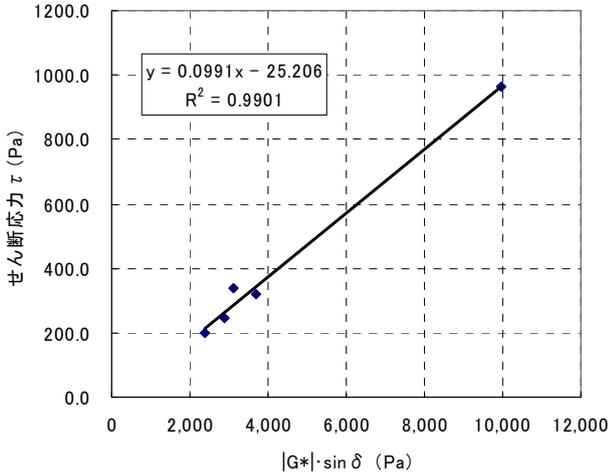


図-15  $|G^*| \cdot \sin \delta$  とせん断応力  $\tau$  の関係

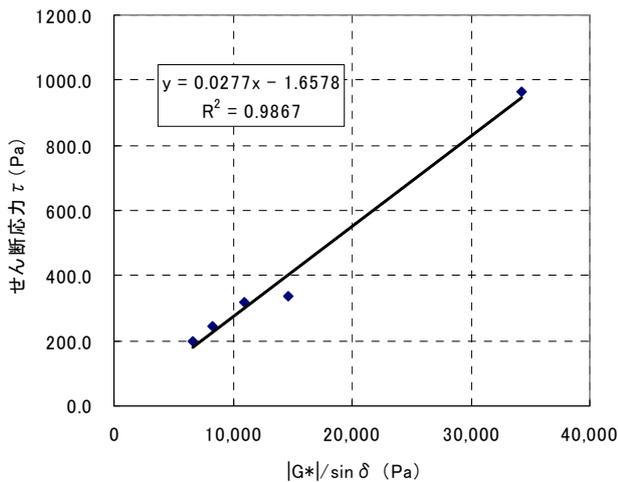


図-16  $|G^*|/\sin \delta$  とせん断応力  $\tau$  の関係

$|G^*|/\sin \delta$  (永久変形抵抗性の指標) とせん断応力  $\tau$  の関係を図-16に示す。

以上の結果から、以下のことがわかった。

- ・5種類のアスファルトによって差異が認められた。
- ・複素弾性率  $G^*$  は、Dの値が18,490Paと最も高く、硬いことを示している。また、 $|G^*|/\sin \delta$  が34,300 Paと最も高く、変形抵抗性に優れている。
- ・損失正接が最も低いアスファルトEに着目すると、弾性的な性質を持つことを示している。
- ・ $|G^*| \cdot \sin \delta$  及び  $|G^*|/\sin \delta$  とせん断応力は相互に正の相関関係が改めて確認できた。

### 3) 曲げ試験とDSR試験の関係

DSR試験と曲げ試験との相関関係を表-12に示す。

表-12 DSR試験と曲げ試験との相関関係

項目	針入度 (1/10mm)	软化点 (°C)	曲げひずみ ( $\times 10^{-3}$ mm/mm)	曲げ仕事量 (kJPa)	曲げステイフネス (MPa)
複素弾性率 $ G^* $ (Pa)	- 0.9727	+ 0.7367	- 0.9596	- 0.8295	+ 0.9556
$ G^*  \cdot \sin \delta$ (Pa)	- 0.9444	+ 0.7616	- 0.9772	- 0.8549	+ 0.9697
$ G^* /\sin \delta$ (Pa)	- 0.9799	+ 0.6946	- 0.9187	- 0.7844	+ 0.9183
損失正接 $\tan(\delta)$	+ 0.2699	- 0.0478	+ 0.0937	+ 0.0347	- 0.0935
せん断応力 $\tau$ (Pa)	- 0.9696	+ 0.7355	- 0.9603	- 0.8338	+ 0.9576

この結果から、以下のことがわかった。

- ・DSR試験と曲げ試験の関係は、損失正接(粘弾性指標)以外の相関係数は高いことがわかった。
- ・アスファルトDの値に影響されているため、相関関係の傾きが変動する可能性がある。

### (4) アスファルト混合物のねじり骨材飛散試験結果

ねじり骨材飛散試験結果を図-17に示す。

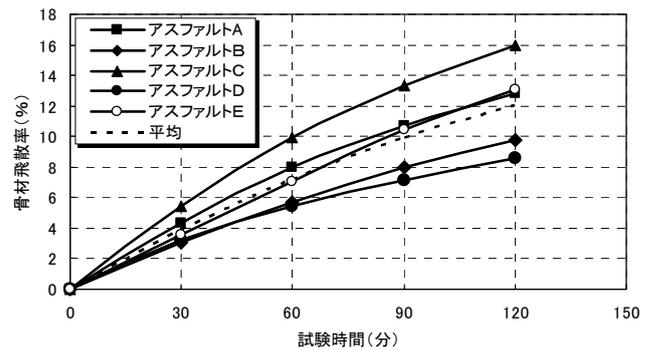


図-17 ねじり骨材飛散試験結果

骨材飛散率の結果から、アスファルトの違いによる明確な差異が認められた。120分後の骨材飛散率では、アスファルトCが16.0%と最も高く、アスファルトDが8.6%と最も低く、平均で12.0%の結果となった。

骨材飛散率の低かった10%以下のアスファルトの物性から考慮すると、単純に硬く弾性的なアスファルトが骨材飛散に優れると考えられる。

### (5) アスファルトの物性試験とねじり骨材飛散試験との関係

アスファルトの物性試験とねじり骨材飛散試験との関係について分析し、それぞれの性状との決定係数を表-13に示す。また、代表としてねじり骨材飛散試験の飛散率と曲げ試験の曲げひずみの関係を図-18に示す。

表-13 物性試験とねじり骨材飛散試験との関係 (決定係数一覧)

項目	ねじり骨材飛散率(%)
針入度 (1/10mm)	+ 0.6731
軟化点 (°C)	- 0.5811
曲げひずみ ( $\times 10^{-3}$ mm/mm)	+ 0.6247
曲げ仕事量 (kPa)	+ 0.3186
曲げスティフネス (MPa)	- 0.5279
複素弾性率 $ G^* $ (Pa)	- 0.5646
$ G^*  \cdot \sin \delta$ (Pa)	- 0.5790
$ G^* /\sin \delta$ (Pa)	- 0.5368
損失正接 $\tan(\delta)$	+ 0.0953
せん断応力 $\tau$ (Pa)	- 0.5580

※ +: 正の相関 -: 負の相関

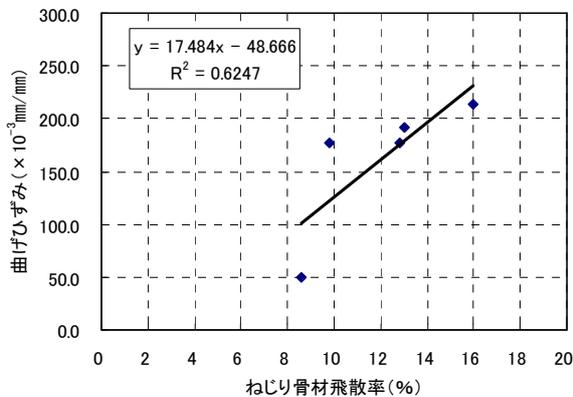


図-18 ねじり骨材飛散率と曲げひずみの関係

この結果から、以下の傾向がわかった。

- ・ 針入度、軟化点と骨材飛散率との相関性から、針入度が高く、軟化点が低いほど骨材飛散率は高くなる。
- ・ 曲げひずみ、曲げ仕事量が大きく、曲げスティフネスが小さいほど骨材飛散率が高くなる。
- ・  $|G^*| \cdot \sin \delta$  (疲労ひび割れ抵抗性の指標)、 $|G^*|/\sin \delta$  (永久変形抵抗性の指標) およびせん断応力が低いほど骨材飛散率は高くなる。

#### (6) 室内評価試験と破損実態との関係

実施した室内評価試験と破損実態の関係を把握するため、平成 19 年度施工の全 18 調査箇所の結果と、平成 22 年度施工の全 12 調査箇所の破損件数の結果をそれぞれ使用アスファルト毎に集計したデータを用い、各室内評価試験データとの相関分析を行った。なお、破損件数は、全破損データを用いた場合と個別破損データ(クラック、面荒れ、わだち掘れ)を用いた場合で評価した。各供用年毎の室内評価試験結果との決定係

数を表-14、15 に示す。

表-14 室内評価試験と平成 19 年度施工箇所破損実態との関係 (決定係数一覧)

	全破損 (件数/km)	クラック (件数/km)	面荒れ (件数/km)	わだち掘れ (件数/km)
針入度 (1/10mm)	- 0.2328	- 0.0389	- 0.2343	- 0.1504
軟化点 (°C)	+ 0.1578	- 0.0005	+ 0.0096	+ 0.5994
最大曲げ応力 (MPa)	+ 0.0798	+ 0.0001	+ 0.6607	+ 0.1678
曲げひずみ ( $\times 10^{-3}$ mm/mm)	- 0.0795	+ 0.0026	- 0.1671	- 0.1866
曲げ仕事量 (kPa)	- 0.0091	+ 0.0058	+ 0.0016	- 0.3847
曲げスティフネス (MPa)	+ 0.0438	- 0.0024	+ 0.138	+ 0.1442
複素弾性率 $ G^* $ (Pa)	+ 0.1109	+ 0.0093	+ 0.134	+ 0.1721
$ G^*  \cdot \sin \delta$ (Pa)	+ 0.0795	- 0.0001	+ 0.103	+ 0.2325
$ G^* /\sin \delta$ (Pa)	+ 0.1467	+ 0.0415	+ 0.1672	+ 0.1153
損失正接 $\tan(\delta)$	- 0.4729	- 0.8656	- 0.4077	+ 0.1521
せん断応力 $\tau$ (Pa)	+ 0.105	+ 0.0081	+ 0.129	+ 0.173
骨材飛散率 (%)	- 0.4956	- 0.0003	- 0.4161	- 0.2955

※網掛けは各損傷項目のうち決定係数が最大のもの

+: 正の相関 -: 負の相関

表-15 室内評価試験と平成 22 年度施工箇所破損実態との関係 (決定係数一覧)

	全破損 (件数/km)	クラック (件数/km)	面荒れ (件数/km)	わだち掘れ (件数/km)
針入度 (1/10mm)	+ 0.2299	- 0.0012	+ 0.0473	+ 0.4537
軟化点 (°C)	- 0.001	- 0.0793	+ 0.0057	- 0.1665
最大曲げ応力 (MPa)	- 0.047	- 0.002	+ 0.052	+ 0.2189
曲げひずみ ( $\times 10^{-3}$ mm/mm)	+ 0.2369	+ 0.019	+ 0.0003	+ 0.24
曲げ仕事量 (kPa)	+ 0.1296	+ 0.0119	+ 0.0063	+ 0.3193
曲げスティフネス (MPa)	- 0.3135	- 0.0054	- 0.005	- 0.276
複素弾性率 $ G^* $ (Pa)	- 0.2655	+ 0.0001	- 0.0323	- 0.4086
$ G^*  \cdot \sin \delta$ (Pa)	- 0.2115	- 0.009	- 0.0057	- 0.3066
$ G^* /\sin \delta$ (Pa)	- 0.3226	+ 0.0137	- 0.0842	- 0.5235
損失正接 $\tan(\delta)$	+ 0.3157	- 0.8016	+ 0.9304	+ 0.8242
せん断応力 $\tau$ (Pa)	- 0.2674	+ 0.0001	- 0.0315	- 0.4058
骨材飛散率 (%)	- 0.0248	+ 0.3178	- 0.1454	+ 0.013

※網掛けは各損傷項目のうち決定係数が最大のもの

+: 正の相関 -: 負の相関

#### ①全破損との関係

各室内評価試験結果と全破損との相関は、最も高いもので平成 19 年度施工箇所における骨材飛散率の 0.4956 であり、いずれの試験結果とも相関は低かった。

#### ②クラックとの関係

各室内評価試験結果とクラックとの相関が最も高いものは平成 19 年度施工箇所の損失正接との関係で、決定係数は 0.8656 と高く、損失正接が小さくなる(弾性的になる)ほど、ひび割れ頻度が高くなる傾向であった。

また、その他の試験結果との相関は全て低かった。

#### ③面荒れとの関係

各室内評価試験結果と面荒れとの相関は、最も高いものは平成 22 年度施工の損失正接との関係で、決定係

数は0.9304と高く、損失正接が大きくなる（弾性が小さくなる）ほど、面荒れ頻度が高くなる傾向であった。ただし、サンプル数の多い平成19年度のデータでは、逆の傾向を示しており、はっきり結論付けることは難しいと考えられる。

また、平成19年度施工箇所の最大曲げ応力との関係も比較的相関が高かった。

#### ④ わだち掘れとの関係

各室内評価試験結果と面荒れとの相関は、最も高いものは平成22年度施工の損失正接との関係で、決定係数は0.8242と高く、損失正接が大きくなる（弾性が小さくなる）ほど、わだち掘れ頻度が高くなる傾向であった。

また、平成19年度施工箇所の軟化点との関係も比較的相関が高かったが、通常わだち掘れは軟化点が高いものの方が生じにくい傾向であることを考慮すると、想定していた傾向とは異なった結果となった。

## 4. 高耐久性ポリマー改質アスファルトH型の規格（案）の設定

### (1) 針入度・軟化点試験

過去の調査結果<sup>1)</sup>では、施工箇所の破損実態との関係から、針入度が低いほど、軟化点が高いほど破損頻度が増加する傾向にあったが、今回の結果では平成19年度のデータは同様となったが、平成22年度のデータは反対の傾向となった。

舗装設計施工指針によるポリマー改質アスファルトH型、H型-Fの標準的性状も考慮して、前回と同様、針入度40以上、軟化点80.0℃以上とした。

ただし、二層式低騒音舗装のクラック発生は少なく、破損頻度が最も多いのは面荒れであり、今回行ったねじり骨材飛散試験の結果、飛散率が少ないのはアスファルトが硬いものであったことから、この点を考慮し針入度の規格を30以上とすることも考えられる。

### (2) 曲げ試験

ポリマー改質アスファルトの曲げ試験結果と混合物性状との関係によると、ポリマー改質アスファルトはポリマー添加量の増加に従い曲げ仕事量は大きくなり、曲げスティフネスは小さくなる傾向にある。また、カンタプロ損失率との相関も高く、混合物性状の評価に

利用できる文献で報告されている<sup>2)</sup>。

曲げ試験では、曲げ仕事量が1,000kPa以下、曲げスティフネスが100MPa以上のアスファルトの場合、試験中に供試体が破断することが報告されているが、今回の試験においてもアスファルトDが曲げ仕事量を満足しておらず、過去の結果と同様にアスファルトは破断する結果となった。

また、破損実態と曲げ仕事量および曲げスティフネスの関係を確認したが、相関性はほとんど認められないという結果となった。破損実態については、今後の更なる追跡調査が必要と考えられる。

このため、過去の結果同様にアスファルトの曲げ仕事量は1,000kPa以上、曲げスティフネスが100MPa以下とした。

### (3) DSR 試験

5種類のアスファルトによるDSR試験結果では、 $|G^*| \cdot \sin \delta$ は2,000～4,000 Paのグループ（4種）、10,000 Pa程度（1種）の2グループとなっている。前回の結果では $|G^*| \cdot \sin \delta$ が大きくなる（硬くなる）と破損頻度も高くなる傾向であったが、今回のDSR試験と破損実態との関係は明確な傾向が得られなかったことと、DSR試験とねじれ骨材飛散試験の骨材飛散率との関係から $|G^*| \cdot \sin \delta$ 、 $|G^*|/\sin \delta$ およびせん断応力が小さいほど骨材飛散率が高くなる結果となり、前回の結果と異なる結果となった。

$|G^*| \cdot \sin \delta$ の値が大きくなる（硬くなる）と疲労ひび割れに起因する破損の頻度が高いとされているが、破損実態におけるクラックとの相関があまり見られないこと、二層式低騒音舗装の破損実態として、面荒れなど骨材飛散を中心とした機能的破損が大半であることを考慮すると、 $|G^*| \cdot \sin \delta$ の規格値については前回10,000Pa以下と上限値を設定しているが、むしろ下限値の設定が必要である可能性が示唆される。

### (4) 規格（案）のまとめ

今回の調査結果の範囲で設定した高耐久性ポリマー改質アスファルトH型の規格（案）を、表-16に示す。ただし、現場の破損は、今回検討したアスファルトや混合物の性状のみならず施工の良否にも大きく影響されるものであり、この結果には施工の影響が含まれていないことに留意する必要がある。

表-16 高耐久性ポリマー改質アスファルト  
H型の規格(案)

試験名	試験値	現行目標値	規格(案)
針入度試験(25°C)	針入度 (1/10mm)	40以上	40以上 (30以上も考慮)
軟化点試験	軟化点 (°C)	80以上	80以上
アスファルト 曲げ試験	曲げ仕事量 (kPa)	1,000以上	1,000以上
	曲げスティフネス (MPa)	100以下	100以下
試験温度-20°C			
DSR試験	$ G^*  \cdot \sin \delta$ (Pa)	10,000Pa 以下	10,000Pa以下 (下限値の設定も考慮)

## 5. まとめ

今回得られた結果は、以下のとおりである。

- ①供用年数に関わらず、破損形態の中で面荒れが最も多く6割程度を占めていた。
- ②平成19年度施工箇所における破損件数の合計の

比較では、平成20年度調査は876件、平成24年度調査は5,494件で、約6倍増加した。

③既存調査・研究と同様に、アスファルトの曲げひずみと曲げスティフネスとの相関性は高いことがわかった。

④ $|G^*| \cdot \sin \delta$  (疲労ひび割れ抵抗性の指標)、 $|G^*| / \sin \delta$  (永久変形抵抗性の指標) およびせん断応力が低いほど骨材飛散率は高くなる傾向が伺えた。

⑤室内評価試験の結果と今回調査を行った破損実態との関係は、はっきりと結論づけられる結果は得られなかった。

⑥今回の調査結果を踏まえ、前回設定した二層式低騒音舗装の上層に用いる高耐久性ポリマー改質アスファルトH型の規格(案)の改訂案を提案した。

## 参 考 文 献

- 1) 峰岸順一、小林一雄(2009): 二層式低騒音舗装の破損実態とアスファルト性状の関係、平21. 土木技術支援・人材育成センター年報、43-52
- 2) 塚越、田中、佐々木、新田、坂本: 舗装用アスファルトの粘弾性状と混合物の流動特性に関する実験、土木学会第50回年次学術講演会、1995.9