

排水性舗装の骨材飛散抵抗性に関する検討

渡貫辰彦¹・向後憲一²・井上武美³

¹ 正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)
² 正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)
³ フェロー会員 工博 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

本検討は、排水性舗装の骨材飛散抵抗性を混合物の水平方向のせん断力による繰返しせん断試験により評価した。その結果、使用したバインダー特性との相関から、曲げ仕事量の大きいバインダー（曲げスティフネスの小さいバインダー）を使用することが排水性混合物の骨材飛散対策に有効であることを確認した。さらに、表層混合物層に作用するせん断応力の試算との比較から、高性能なバインダーの選択だけでは骨材飛散対策として必ずしも十分ではないこと、舗装表面の温度を低下することができる技術を併用することで、より有効な対策が可能であることを示した。

Key Words : porous asphalt mixture, aggregate fretting, bending test, elastic recovery test, repeated shear test

1. まえがき

大型車交通量の多い交差点や民地乗り入れなど荷重条件が特殊となる箇所に排水性アスファルト舗装（以下、排水性舗装）を適用する場合、骨材の飛散が問題となることが多く、舗設後短期間に発生することもある^{1), 2)}。排水性舗装の骨材飛散は、積雪寒冷地でのタイヤチェーンの打撃によるものを除けば、水平方向のせん断力やねじり荷重などの特殊な荷重条件によるものであると考えられる³⁾。

既報⁴⁾では、空隙率やバインダーの種類が異なる排水性アスファルト混合物（以下、排水性混合物）について特殊な荷重条件に対する抵抗特性を検討し、高性能なバインダーの選択や樹脂コーティングなどが骨材飛散抵抗性の改善に有効であることを報告している。しかしながら、ここで示した改善策が、想定される荷重に対しどの程度の効果があるかの定量的な評価は行っていない。

本報告は、アスファルト混合物のせん断疲労に関する報告がほとんどみられていないため、排水性混合物の水平方向のせん断力による繰返しせん断試験を実施して骨材飛散抵抗性を評価した。また、使用したバインダーの特性（バインダーの曲げ試験や弾性回復試験）との関連から、骨材飛散抵抗性の改善効果について検討した。さらに、表層混合物層内に

作用するせん断応力の試算結果との比較から、骨材飛散の発生機構とこれに対する改善策とその効果について検討した。

2. バインダーの性状

(1) バインダーの種類

実験に使用したバインダーは、ストレートアスファルト 60/80（以下、ストアス）、改質アスファルト 型（以下、改質 型）、高粘度改質アスファルト（以下、高粘度）、高耐久型高粘度改質アスファルト（以下、高耐久型）、エポキシアスファルト（以下、エポアス）の5種である。

(2) 試験方法

排水性混合物の骨材飛散抵抗性は、使用するバインダーの骨材把握力による影響が大きく、通常その評価はタフネス・テナシティ試験で行う。しかしながら、タフネス・テナシティ試験は、排水性混合物に使用される高粘度改質アスファルトのようなポリマー添加量の多いアスファルトでは、正確な測定が困難であるとされている（試験操作の過程で、アスファルト試料が金属半球から脱落してしまうことがある⁵⁾）。そこで、本検討ではタフネス・テナシティ試験に替わる試験として、バインダーの曲げ試験

表-1 バインダーの性状

試 験 項 目	ストアス	改 質 型	高 粘 度	高 耐 久 型	エポアス
針入度 (25) 1/10mm	70	51	58	63	89
軟化点	47.5	67.5	98.5	102.0	
伸度 (15) cm	100+	82	97	102	86
フラス脆化点			-23	-28	
引火点 (C.O.C)	364	329	312	320	
薄膜加熱質量変化率 %	+0.06	+0.01	-0.03	-0.04	
薄膜加熱針入度残留率 %	70	82.4	81.0	84.1	
60 粘度 ($\times 10^4$) Pa·s			10+	10+	
密度 (-15) g/cm ³	1.038	1.034	1.030	1.028	1.029
タフネス (-25) N·m	4.5	25.3	29.4		
テナシティ (-25) N·m	1.1	16.3	22.6		
曲げ強度 (-20) Mpa	4.5	5.7	9.7	5.4	7.4
曲げひずみ (-20)	11.7×10^{-3}	18.5×10^{-3}	36.5×10^{-3}	204×10^{-3}	243×10^{-3}
曲げ仕事量 (-20) Mpa	52.7×10^{-3}	106×10^{-3}	354×10^{-3}	1100×10^{-3}	1800×10^{-3}
曲げスティフネス (-20) Mpa	385	308	266	26.5	30.5
弾性回復率 (20) %	3.3	85.0	91.7	95.7	94.7

およびバインダーの弾性回復試験を実施し、排水性混合物の骨材飛散抵抗性との関連を検討することとした。試験方法は以下のとおりである。

a) 曲げ試験

バインダーの曲げ試験は、JH試験研究所と日本改質アスファルト協会の共同研究により提案された方法で⁵⁾、バインダー単体の曲げ強度と曲げひずみを測定し、次式により曲げ仕事量および曲げスティフネスを算出する。

$$\text{曲げ仕事量} = \sigma \times \varepsilon$$

$$\text{曲げスティフネス} = \sigma / \varepsilon$$

(σ : 曲げ強度, ε : 曲げひずみ)

なお、試験条件は以下のとおりである。

試験温度 : -20

供試体寸法 : 120mm × 20mm × 20mm

載荷方法 : 2点支持、中央1点載荷

スパン : 80mm

載荷速度 : 100mm/min

b) 弾性回復試験

弾性回復試験は、改質アスファルトのゴム弾性を測定する試験である。伸度試験機により伸度試験用供試体を20cmまで引き伸ばした後、供試体中央を切断し、1hr放置後の弾性回復率を次式により求める。

$$\text{弾性回復率(\%)} = \text{回復した長さ} / 10 \times 100$$

なお、試験条件は以下のとおりである。

試験温度 : 20

引伸ばし速度 : 5cm/min

(3) 試験結果

バインダーの性状試験結果は、表-1に示すとおりである(バインダーの曲げ試験および弾性回復試験の結果に加え各バインダーの一般性状(試験成績表から)も併記した)。

図-1は、曲げスティフネスと曲げ仕事量の関係であり、熱可塑性バインダー(エポアスを除く)では両者の間に負の相関が認められる。

また、熱可塑性バインダーの弾性回復率は高耐久型 高粘度 改質型 ストアスの順であり、ポリマー添加量の多い順に大きな値を示している。

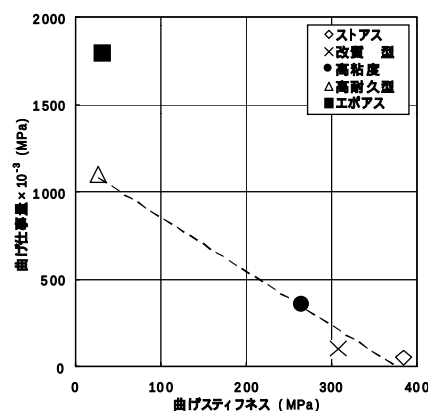


図-1 曲げスティフネスと曲げ仕事量

表-2 混合物の配合および粒度

骨材配合 (%)	6号碎石	86
	粗 砂	9
	石 粉	5
通過質量百分率 (%)	13.2mm	100
	4.75	16.7
	2.36	14.0
	600 μm	9.9
	300	7.9
	140	5.8
	75	4.9
バインダー量 (%)		4.8



写真-1 繰返しせん断試験装置

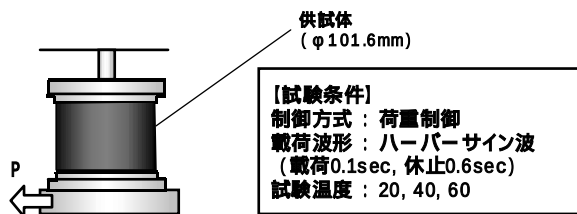


図-2 繰返しせん断試験の概要

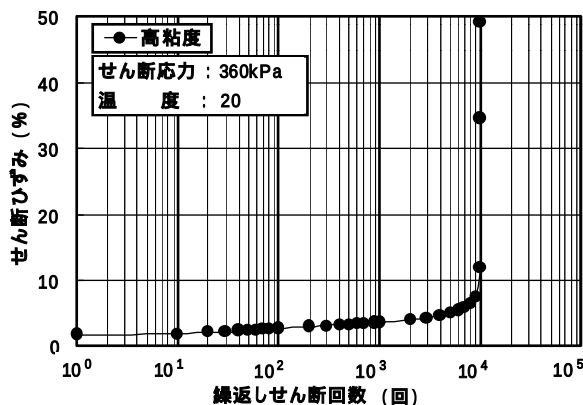


図-3 繰返しせん断試験の測定例

3. 繰返しせん断試験

(1) 混合物の配合

繰返しせん断試験に使用した混合物は、空隙率20%の排水性混合物であり、その配合および粒度を表-2に示す。

(2) 試験方法

繰返しせん断試験の概要を写真-1 および図-2に、試験結果の例を図-3に示す。繰返しせん断試験は、マーシャル安定度試験用の供試体を恒温槽内の治具にセットし(図-2)、水平方向に繰返し載荷する。載荷条件は荷重制御のハーバーサイン

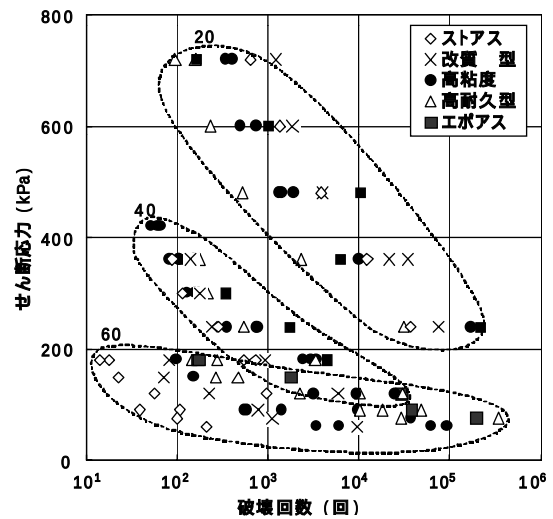


図-4 繰返しせん断試験結果

波(0.1sec 載荷, 0.6sec 休止)であり、載荷回数毎のせん断ひずみ(変位と供試体の直径の比と定義した)を測定する。なお、せん断疲労破壊は、せん断ひずみの急激な増大がみられる載荷回数とした。試験温度は20, 40 および 60 である。

(3) 試験結果

図-4は試験温度20, 40 および 60 における繰返しせん断試験の結果である。試験温度の上昇にともない排水性混合物のせん断疲労破壊回数は低下する。排水性舗装の骨材飛散が発生する時点の詳細な調査はなされていないが、水平方向のせん断力が優先する条件下では排水性混合物の骨材飛散は夏期高温時に発生し易いものと考えられる。

(4) バインダー性状とせん断疲労抵抗性

繰返しせん断試験の結果をバインダーの種類でみると、試験温度60では高性能な改質アスファルトを使用することによりせん断疲労破壊回数が改善するが、試験温度20では逆の結果となるものもある。例えばストアスと高耐久型を比較すると、試験温度60では高耐久型がせん断疲労抵抗性に優るが、試験温度20ではストアスが優る。これはポリマーの添加の有無と添加量によるバインダーの感温性の違いによるものと考えられ、熱可塑性バインダー(エポアスを除く)では感温性の低いものが高温時のせん断疲労抵抗性に優る傾向がみられる。

図-5は、バインダーの曲げ仕事量とせん断疲労破壊回数の関係である(ここでは[試験温度: 60, せん断応力: 100kPa]におけるせん断疲

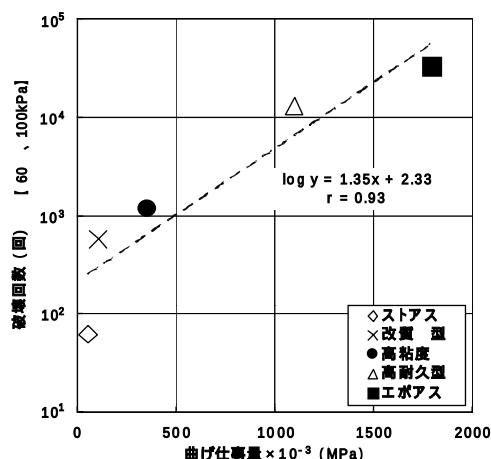


図-5 曲げ仕事量とせん断疲労破壊回数

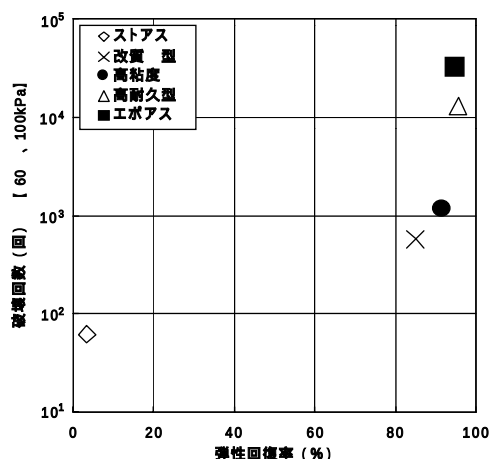


図-7 弾性回復率とせん断疲労破壊回数

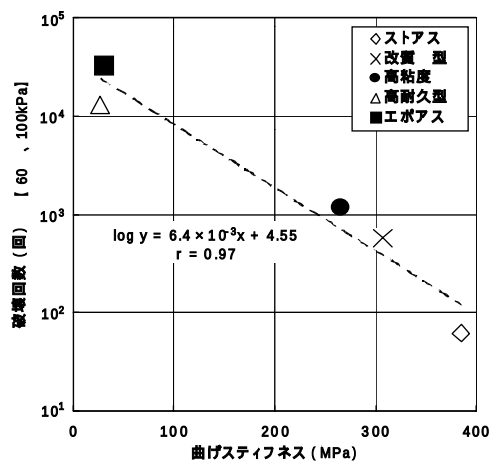


図-6 曲げスティフネスとせん断疲労破壊回数

疲労破壊回数の値を用いた。それは以下の理由による。バインダー種の違いによるせん断疲労破壊回数の優劣は、前述のように、試験温度が変わると逆の結果となるものもあるので、ここでは水平方向のせん断力が優先する条件下で排水性混合物の骨材飛散がより発生し易いと考えられる高温域（60℃）でのせん断疲労破壊回数とバインダー特性の関係を検討することが有効であると判断した。図-6、図-7も同様である。バインダーの曲げ仕事量とせん断疲労破壊回数（60℃）には正の相関が認められる。また、図-6はバインダーの曲げスティフネスとせん断疲労破壊回数の関係であり、両者の間には負の相関が認められる。これは、曲げ仕事量の大きいバインダー（曲げスティフネスの小さいバインダー）の選択は、水平方向のせん断力が優先する条件下での排水性混合物の骨材飛散対策として有効であるといえる。図-7は、バインダーの弾性回復率とせん断疲労破壊

回数の関係である。弾性回復率は、バインダーへのポリマー添加の有無（ストアスと改質アスファルト）でグループに分かれているが、せん断疲労抵抗性との関係は明確ではない。

4. 考察

(1) 舗装表面に作用するせん断応力の試算

図-8は舗装表面に円形等分布の鉛直荷重と水平荷重が作用するとき、載荷中心直下の表層混合物に働くせん断応力を弾性解析により試算した結果である⁶⁾。なお、ここでは鉛直荷重を49kNとし、水平荷重を24.5kN（荷重と舗装との摩擦係数 $\mu = 0.5$ における水平荷重の最大値）、4.3kN（ $\mu = 0.7$ 相当）、44.1kN（ $\mu = 0.9$ 相当）としている。また、図-9は試験温度60℃におけるせん断疲労試験の結果（既報⁴⁾の単純載荷（50mm/min）によるせん断強度を加えた）を示した。ここで、水平荷重をタイヤと路面の摩擦係数が0.7～0.9程度で作用する最大荷重と仮定すれば、舗装表面では400～500kPa程度のせん断応力が、排水性舗装の骨材飛散で問題となる深さ5～13mm程度（粗骨材の最大粒径に相当）では300～400kPa程度のせん断応力が作用すると推定される。この応力条件下では僅かの載荷回数で舗装表面のバインダーのはがれや粗骨材の飛散が発生することが予測される。実路の舗装と室内試験用供試体では側面の拘束状態が異なり、単純な比較はできないが、排水性舗装の骨材飛散対策として、特に過酷な条件下では、高性能なバインダーの選択だけでは必ずしも十分な効果が期待できにくいものと考えられる。

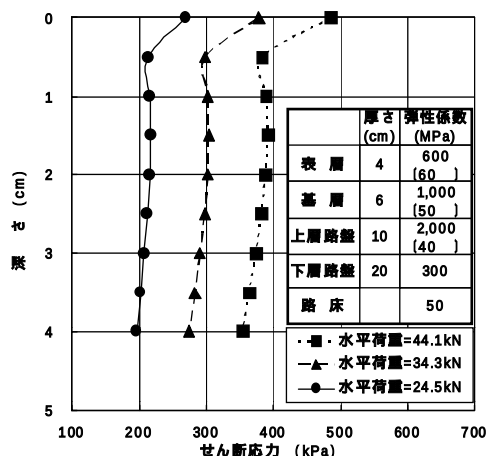


図-8 表層に作用するせん断力

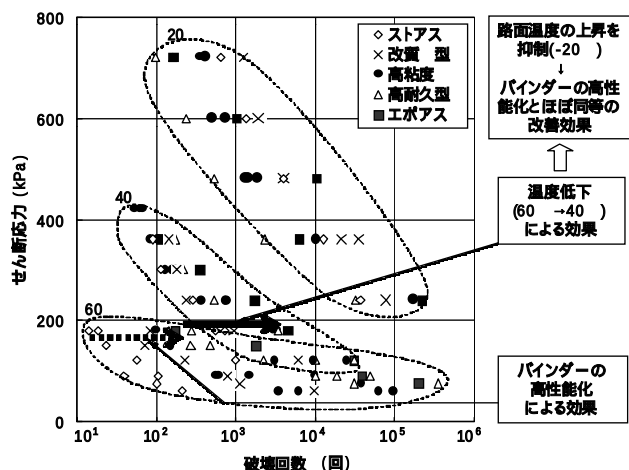


図-10 繰返しせん断試験結果(再掲)

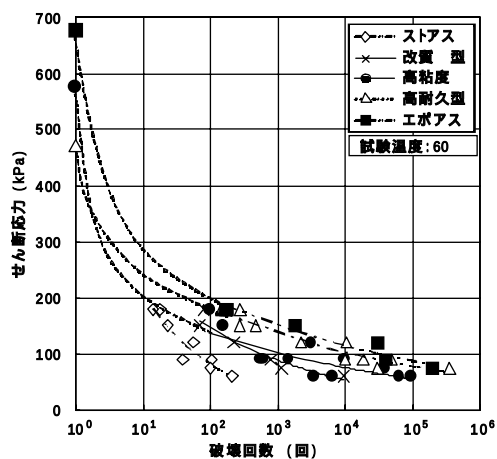


図-9 繰返しせん断試験結果(60)

(2) 舗装温度の低下による骨材飛散抵抗性の改善

図-10 (図-4 を再掲) に見られるように排水性混合物のせん断疲労抵抗性は温度の影響を大きく受け、例えば温度が 20 低下 (60 → 40) すると、骨材飛散に対する改善効果はバインダーの高性能化と同等以上ともみなせる (図中の破線矢印をバインダーの高性能化による改善効果、実線矢印を舗装の温度低下による改善効果とみなした)。近年、環境問題への対応から開発された、夏期高温時に通常のアスファルト舗装よりも 15 ~ 20 程度舗装表面の温度を低下することができる技術⁷⁾を併用することで、より有効な骨材飛散対策が実施可能と考えられる。

5. まとめ

本検討により得られた知見をまとめれば以下のとおりである。

排水性混合物のせん断疲労抵抗性を確認し、その特性は温度による影響が大きいことが解った。

バインダーの曲げ仕事量とせん断疲労破壊回数 (60) には正の相関が認められる。また、バインダーの曲げスティフネスとせん断疲労破壊回数には負の相関が認められる。したがって、曲げ仕事量の大きいバインダー (曲げスティフネスの小さいバインダー) の選択は、水平方向のせん断力が優先する条件下での排水性混合物の骨材飛散対策として有効である。

排水性混合物のせん断疲労試験結果と表層混合物層内に作用するせん断応力の試算との比較から、舗装の温度条件やタイヤと路面の摩擦係数によっては、僅かの載荷回数で舗装表面のバインダーのはがれや粗骨材の飛散が発生することが予測される。また、そのような条件下では、排水性舗装の骨材飛散対策として、高性能なバインダーの選択だけでは必ずしも十分な効果が期待できないものと考えられる。

舗装表面の温度を低下することができる技術の有効な特性のバインダーと併用することで、より有効な骨材飛散対策が可能と考えられる。

6 . あとがき

本検討では、排水性混合物の骨材飛散抵抗性を水平方向のせん断力による繰返しせん断試験により評価し、バインダーの特性や試算した作用応力との比較から、骨材飛散の発生とそれに対する改善策とその効果を把握した。

今後は、試験施工による評価と実路での供用性に関するデータを蓄積し、それらの関係を明らかにすることとしたい。

参考文献

- 1) 峰岸：低騒音舗装のねじれ抵抗性評価，平成 12 年東京都土木技術年報，pp.99-110，2000.9
- 2) 阿部忠行：東京都の低騒音舗装，アスファルト Vol.41，No.196，1998.7
- 3) (社)日本道路建設業協会舗装技術基準問題検討ワーキンググループ：舗装要綱の改訂に関する提案，道路建設，pp.44-55，2000.1
- 4) 向後，渡貫，井上：排水性舗装の骨材の飛散抵抗性に関する検討，土木学会舗装工学論文集，Vol.7，2002.12
- 5) 高橋茂樹，菅野勝一，本松資朗，大野滋也：高粘度改質アスファルトの試験方法および評価方法に関する研究，日本道路公団試験研究所報告 Vol.39，pp.68-80，2000-11
- 6) 松井邦人，James Maina，董勤喜，小澤良明：鉛直および水平方向に円形等分布の荷重作用を受ける舗装構造の弾性解析，土木学会舗装工学論文集 Vol.6，2001
- 7) 吉中，根本，深江：遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果に関する一検討，土木学会第 57 回年次学術講演会，-394，2001

A STUDY OF RESISTANCE TO AGGREGATE FRETTING OF POROUS ASPHALT PAVEMENTS

Tatsuhiko WATANUKI, Kenichi KOUGO and Takemi INOUE

We conducted horizontal repeated shear test in order to appreciate the resistance to aggregate fretting of porous asphalt pavement. Test results showed that the mixture which used the binder with higher bending work (the binder with lower stiffness) had good effect on the resistance to aggregate fretting. However, according to compare the test result with the calculation value of the shear stress acting on the surface layer, we recognized that using high quality binder was not always sufficient to control aggregate fretting. In addition, it suggested that the method to combine the technology to lower the surface temperature of porous asphalt layer with the high quality binder was better for aggregate fretting.