

排水性舗装の骨材の飛散抵抗性に関する検討

向後憲一¹・渡貫辰彦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)

排水性舗装の骨材の飛散は、常温以下の温度域で舗装面に衝撃荷重が作用することにより発生するものと、常温以上の温度域で舗装面にねじり荷重や水平荷重が作用することにより発生するものがあると考えられる。

本検討では、衝撃荷重による骨材の飛散に対する抵抗性をカンタブロ試験で、ねじり荷重に対する抵抗性を繰返し表面剥奪試験で、水平荷重による骨材の飛散に対する抵抗性をせん断試験で評価することとし、バインダーの種類や空隙率の大小ならびに樹脂コーティング等の有無などを変化させることにより排水性混合物の骨材の飛散抵抗性には違いのあることを確認した。

Key Words : porous asphalt mixture, Cantabro test, repeated torsional load test, direct shear test

1. まえがき

排水性アスファルト舗装（以下、排水性舗装）は、車両走行騒音の低減や雨天時のすべり抵抗性や視認性改善などの機能を有することにより、環境・安全対策として1995年頃から急速に普及し、現在、舗装面積は、高粘度改質アスファルトの出荷量（2000年度：12.7万t/年）¹⁾から推定して年間3千万m²程度にまで達している。

排水性舗装は、高速道路から都市内の道路に至るまで様々な箇所に適用されており、その施工量の増加とともに機能の確認とあわせ基本的な技術もほぼ確立されたといえよう。しかしながら、積雪寒冷地や大型車交通量の多い路線の交差点付近、民地乗り入れなど荷重条件が通常の走行時と異なる箇所で、早期に破損する例が見られるようになり、この種の破損の対応として排水性舗装の耐久性の向上を目指した取組み（材料、配合、施工方法などの改善）がなされているところである^{2) 3)}。

本検討では、これら特殊な条件下における排水性舗装の典型的な破損形態である骨材の飛散^{2) 4) 5)}について、その評価方法を含めて、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）の骨材の飛散に対する抵抗特性を検討し、その改善策を示した。

2. 検討の背景

重交通箇所における通常のアスファルト舗装の破損は、一般地域では流動によるわだち掘れが、積雪寒冷地域では流動および摩耗によるわだち掘れが代表的な形態とされている。一方、排水性舗装は、通常のアスファルト舗装と比較して耐流動性に優れ⁶⁾わだち掘れが生じ難い反面、骨材結合部が通常の混合物よりも少ない開粒度型混合物の特性から、空隙詰まりや骨材の飛散が代表的な破損形態である。

排水性舗装の骨材の飛散は、常温以下の温度域で舗装面に衝撃荷重（タイヤチェーンによる打撃など）が作用することにより発生するものと、常温以上の温度域で舗装面にねじり荷重や水平荷重（タイヤの据えぎりやコーナリング時のせん断力など）が作用することにより発生するものがあると考えられる。

排水性混合物の骨材の飛散抵抗性は、通常カンタブロ試験により評価されてきている。この試験は、その方法や条件から常温以下の温度域での衝撃荷重による骨材の飛散を想定したものとみなせる。排水

性舗装技術指針(案)では、排水性混合物の配合設計の基本的な考え方として、カンタプロ損失率が最小となるアスファルト量（アスファルトがダレない範囲内で）を適正量とすることを原則としており⁷⁾、衝撃荷重による骨材の飛散を最小とするよう配合設計に反映されている。

常温以上の温度域でのねじり荷重による骨材の飛散抵抗性は、数種のねじれ抵抗性試験による評価が試みられている。それらは、一方向に回転する供試体に回転を伴う載荷輪でねじり荷重を加えるものや両方向に繰返し回転する供試体に静止状態の載荷輪でねじり荷重を加えるものなどがあり、いずれも骨材の飛散抵抗性を定性的に評価することができると言われている⁴⁾。

これらを踏まえ、本検討では排水性混合物の特性と骨材の飛散抵抗性（衝撃荷重によるものおよびねじり荷重や水平荷重によるもの）の関係を把握するため、各種排水性混合物についてカンタプロ試験および繰返し表面剥奪試験を実施した。さらに、それらの混合物についてせん断試験を実施し、排水性混合物の飛散抵抗性を舗装に作用するせん断応力の計算結果とせん断強度の関係から検討した。

なお、ここでは骨材飛散が問題視される箇所での懸念されるわだち掘れもあるが、排水性混合物の骨材の飛散抵抗性についてのみ検討することとした。これは図-1に示すように、骨材の飛散抵抗性が変化しても排水性混合物は十分な耐流動性（カンタプロ損失率が7%以下程度であればDS $\geq$ 4,000回/mm程度）を有するという従来の実績を勘案してのことである。

3. 材料および配合

排水性混合物の骨材の飛散抵抗性は、空隙率の大小と使用するバインダーの性能による影響が大きいと考えられる。そこで本検討では空隙率およびバインダーの種類の異なる排水性混合物について各種試験を行い、骨材の飛散抵抗性を比較することとした。

バインダーは、骨材の飛散抵抗性に優れると考えられる高耐久型高粘度改質アスファルト（高粘度改質アスファルトと比べ、低温でのたわみ性を改善したもの。以下、高耐久型）、エポキシアスファルト（以下、エポアス）および比較標準として高粘度改質アスファルト（以下、高粘度）の3種類とした。それらの性状は表-1に示すとおりである。

排水性混合物の空隙率は、14、17、20%とした。配合および骨材粒度は表-2に示すとおりである。

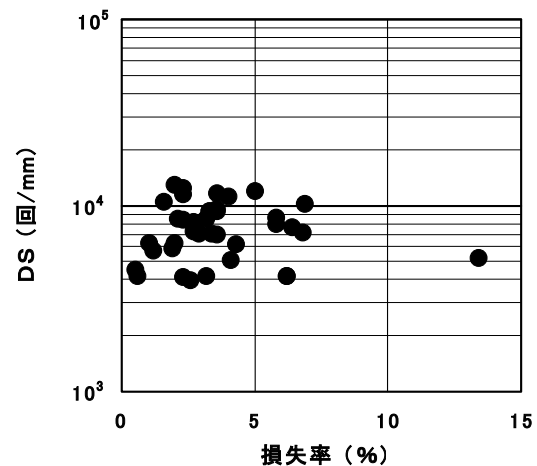


図-1 カンタプロ損失率と DS の関係

表-1 バインダーの性状

試 験 項 目	高耐久型	高粘 度	エポアス
針 入 度 (25℃) 1/10mm	63	58	89
軟 化 点 ℃	102.0	98.5	98.5
伸 度 (15℃) cm	102	97	86
フラス脆化点 ℃	-28	-23	
引 火 点 (C.O.C) ℃	320	312	
薄膜加熱質量変化率 %	-0.04	-0.03	
薄膜加熱針入度残留率 %	84.1	81.0	
60℃ 粘 度 (×10 ⁴) Pa・s	10+	10+	
粗骨材のはく離面積率 %	0	0	
曲 げ 強 度 (-20℃) MPa	6.3	8.3	0.3※)
曲げひずみ (-20℃) cm/cm	160×10 ⁻³	20×10 ⁻³	446×10 ⁻³ ※)
密 度 (15℃) g/cm ³	1.028	1.030	1.029
タフネス (25℃) N・m		29.4	
テナシティ (25℃) N・m		22.6	
〈バインダーの曲げ試験条件〉※)試験温度 20℃ 1) 供試体寸法：2×2×12cm 2) スパン：8cm 3) 載荷方法：2点支持中央載荷 4) 載荷速度：100mm/min 〈エポアスの硬化条件〉 60℃, 5日間養生			

表-2 混合物の配合および粒度

目 標 空 隙 率		14%	17%	20%
骨 材 配 合 (%)	砕 石 6 号	80.0	83.0	86.0
	粗 砂	15.0	12.0	9.0
	石 粉	5.0	5.0	5.0
	アスファルト量	5.4	5.1	4.8
通 過 質 量 百 分 率 (%)	13. 2 (mm)	100	100	100
	4. 75	22.5	19.6	16.7
	2. 36	20.0	17.0	14.0
	600 (μ m)	13.2	11.6	9.9
	300	9.8	8.8	7.9
	150	6.4	6.1	5.8
	75	5.3	5.1	4.9

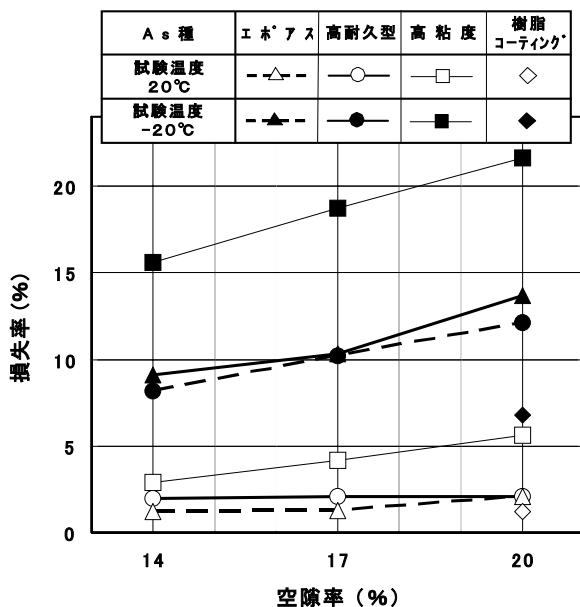


図-2 カンタブロ損失率 (-20℃)

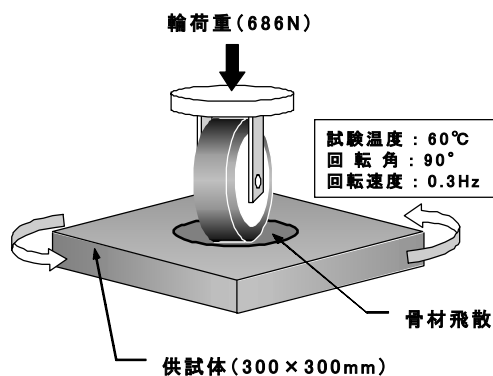


図-3 繰返し表面剥奪試験

なお、これらに加え高粘度を使用した空隙率20%の排水性混合物に、骨材の飛散抵抗性に有効とされている熱硬化性樹脂を含浸させて補強したもの（ポリエステル系樹脂を 1.0 l/m^2 含浸。以下、樹脂コーティング）や表面空隙を樹脂モルタルで充填したもの（エポキシ樹脂モルタルを 2.0 kg/m^2 充填。以下、樹脂モルタル充填）も試料とした。

4. カンタブロ試験

カンタブロ試験は、舗装試験法便覧別冊の方法によることとし、試験温度は20℃（常温）および-20℃（低温）とした。カンタブロ試験の結果は、図-2に示すとおりである。

カンタブロ損失率は、同一条件の場合、-20℃の値が20℃より大きい。20℃および-20℃の値とも空隙率が大きいほど大きくなっており、その傾向は

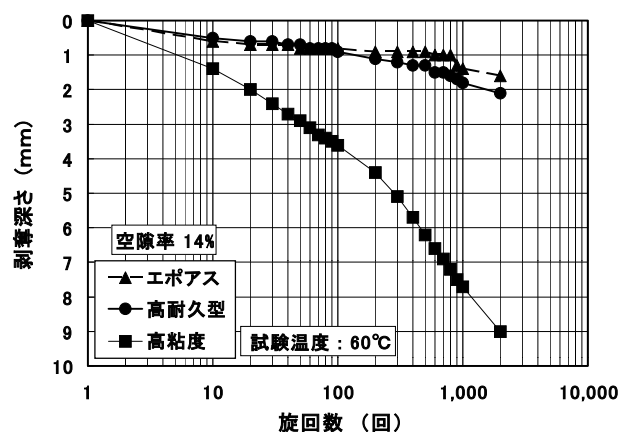


図-4 繰返し表面剥奪試験による剥奪深さ

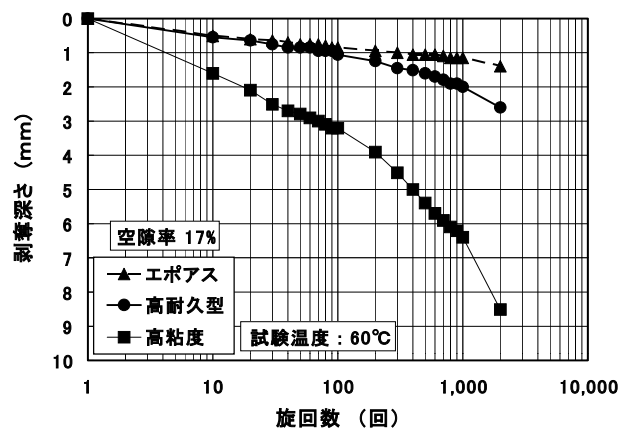


図-5 繰返し表面剥奪試験による剥奪深さ

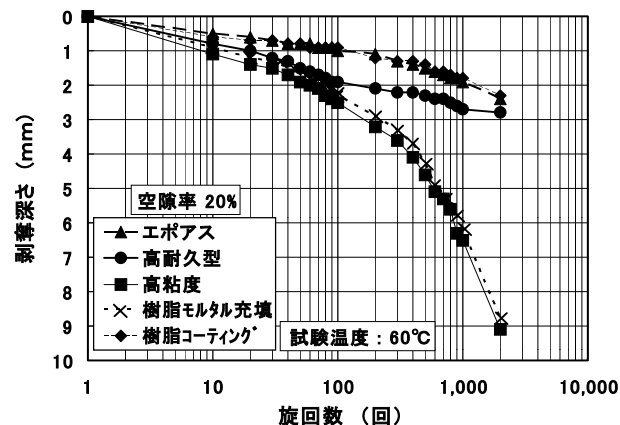


図-6 繰返し表面剥奪試験による剥奪深さ

20℃と比べ-20℃の方が顕著である。また、カンタブロ損失率はバインダーの種類の違いにより大きな差が認められる。この差はバインダーの骨材把握力の違いによるとみなせる。これは、排水性混合物の再生利用において、バインダーの劣化程度の違い（骨材把握力の違い）によりカンタブロ損失率に顕著な差があることにも見られるからである⁸⁾。

これらの結果から、低温域での骨材の飛散抵抗性

は、空隙率の大小がより大きく影響するものと考えられる。しかし、カンタブロ試験による骨材の飛散抵抗性は空隙率の増大による低下が、より高性能なバインダー（高耐久型やエポアス）の使用や樹脂コーティングなどによりその低下をカバーし得ることが解る。これは樹脂コーティングが実際の排水性舗装の骨材飛散抵抗に有効であることから解る。

5. 繰返し表面剥奪試験

繰返し表面剥奪試験の概要は図-3 に示すとおりである。試験はホイールトラッキング試験用の試験輪を供試体上にセットし、供試体を繰返し回転させたときの骨材の剥奪飛散による剥奪深さを測定して評価値としている。試験条件は、試験温度 60℃、載荷荷重 686N、供試体の回転角 90°、回転速度 0.3Hz である。

繰返し表面剥奪試験の結果は図-4～図-6 に示すとおりである。剥奪深さはバインダーの種類による差が大きい。高粘度は剥奪深さが最も大きく、骨材の飛散量（目視評価）も多いのに対し、高耐久型、エポアスおよび樹脂コーティングは剥奪深さが小さく、骨材の飛散もほとんどみられない。なお、樹脂モルタル充填は骨材の飛散抵抗性の改善に有効であるとされているが、今回の試験方法と条件では高粘度とはほぼ同等となっている。適切な評価方法が別途必要であるといえる。また、空隙率の違いによる剥奪深さの結果は、本検討の範囲（空隙率 14～20%）ではカンタブロ損失率にみられる差と比べると僅かである。

6. セン断試験

せん断試験の概要は図-7 に示すとおりである。試験はマーシャル安定度試験用供試体の上・下面を治具で固定し、供試体下面を固定したテーブルが一定速度で水平方向に移動したときの最大荷重からせん断応力を求める。試験条件は、試験温度 60℃、せん断速度 50mm/min および 500mm/min である。

せん断試験の結果は図-8 に示すとおりである。せん断強度はバインダーの種類による差が大きい。エポアスのせん断強度が最も大きく、高粘度と高耐久型はほぼ同等である。空隙率の違いによる比較では、空隙率が大きくなるとせん断強度は小さくなる傾向がある。また、せん断強度はせん断速度依存性があり、せん断速度が大きくなるとせん断強度は大きくなる。今回測定したせん断速度の範囲では、高粘度

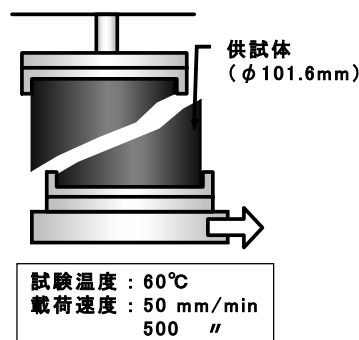


図-7 セン断試験

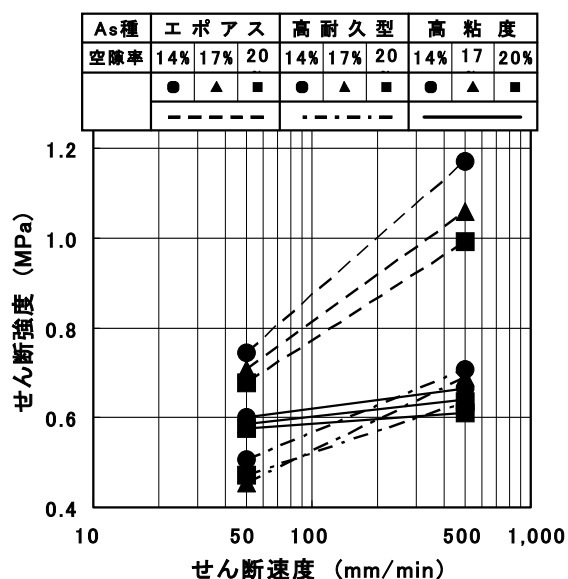


図-8 排水性混合物のせん断試験

はエポアスや高耐久型と比べせん断速度依存性が低い特性を示している。

7. 考察

3 種の評価方法でみた排水性混合物の飛散抵抗性の関連を以下に考察する。

(1) カンタブロ損失率と剥奪深さの関係

図-9 はカンタブロ損失率と繰返し表面剥奪試験による剥奪深さ（回転数 2,000 回）の関係である。カンタブロ損失率の小さいバインダー（高耐久型、エポアス）を使用した排水性混合物は剥奪深さも小さいことが解る。

また、カンタブロ損失率があるレベル以上となると（本検討では 20℃で 3%、-20℃で 15%程度）剥奪深さが急に大きくなっている。この不連続な関係を今後データを蓄積することにより説明し、またね

じれ抵抗性を勘案したカンタプロ損失率の目標値を定めることが必要であると考えられる。

(2) せん断強度と剥奪深さの関係

図-10 は、せん断強度と剥奪深さの関係である。せん断強度とねじり荷重の繰返しに対する抵抗性とは必ずしも反比例しない結果となっている。即ち高粘度と高耐久型をみると、せん断強度はほぼ同等であるが、ねじり荷重の繰返しに対する抵抗性は高耐久型が優る。また、高耐久型とエポアスは、せん断強度はエポアスが大きいのもののねじり荷重の繰返しに対する抵抗性はほぼ同等である。このことは、排水性混合物の特性が使用するバインダーによりねじり力と水平力で異なった特性を現すことを示している。

したがって、単純载荷によるせん断強度の大小だけからねじり荷重の繰返しに対する抵抗性を評価することには問題があると考えられる。

(3) 表層に作用するせん断応力

図-11 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、载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⁹⁾。なお、ここでは鉛直荷重を 49kN とし、水平荷重を 24.5kN ($\mu=0.5$ における水平荷重の最大値)、34.3kN ($\mu=0.7$ 相当)、44.1kN ($\mu=0.9$ 相当) として計算した。この結果と図-8 から、舗装の温度条件とタイヤと路面との摩擦係数および载荷速度によっては、僅かの载荷で表面の骨材が飛散する場合もあることが推測される。これは、条件等が異なるが、通常のアスコンでのせん断疲労試験¹⁰⁾では 10^5 回程度の疲労強度はせん断強度の 1/10 程度ともみなせるからである。

8. 結果とあとがき

排水性混合物の骨材飛散抵抗性は、今回検討したそれぞれの試験方法ごとにみると、定性的には検討した混合物特性を適切に評価しているとみなせる。しかし、骨材飛散は今回検討した外力の組合せにより生ずることから、一評価方法で判断し難いことも解る。それは条件や外力が異なる評価方法間の相関は、概ね認められるものの必ずしも良くないためである。

排水性混合物の骨材飛散抵抗性を改善する上で、本検討により得られた知見をまとめると以下のとおりである。

①バインダー種の比較では、低温域の衝撃荷重による骨材の飛散および高温域のねじり荷重による骨

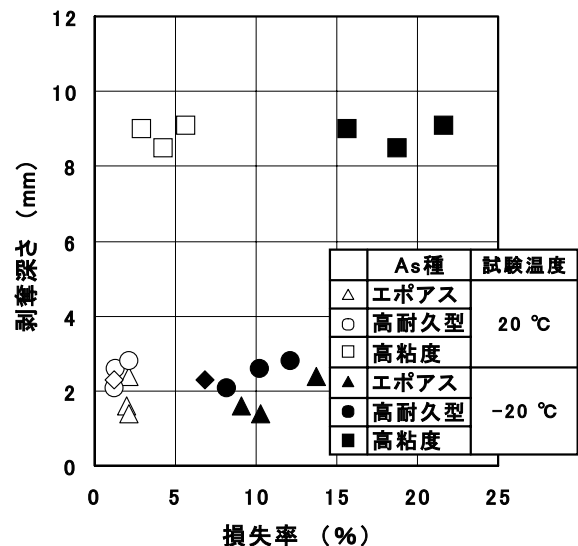


図-9 カンタプロ損失率と剥奪深さの関係

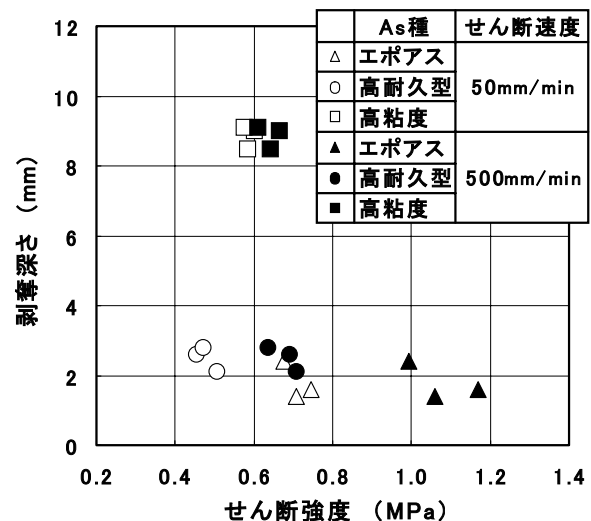


図-10 せん断強度と剥奪深さの関係

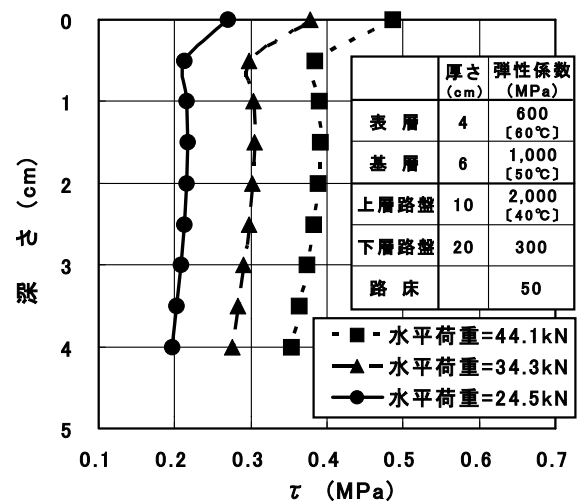


図-11 表層に作用するせん断応力

材飛散のいずれも、高耐久型およびエポアスが高粘度と比べ抵抗性に優る。また、樹脂コーティングも骨材の飛散抵抗性の改善に有効である。

②衝撃荷重による骨材の飛散に対する抵抗性は、空隙率の大小による影響が大きく、特に低温域で空隙率を低下させることが有効である。また、ねじり荷重による骨材の飛散に対する抵抗性は、空隙率の大小による影響が小さいので、バインダーの種類選択や樹脂コーティングが有効である。

③弾性解析から求めた作用応力と混合物のせん断強度の比較により、排水性舗装の水平荷重による骨材飛散の可能性を推測することができると考えられる。

今後は、排水性混合物の特殊荷重に対する特性検討に併せ、これらの試験による評価と実路での供用性に関するデータを蓄積し、バインダー特性も含めてこれらの関係を明らかにすることとしたい。

参考文献

- 1) 日本改質アスファルト協会：改質アスファルト No17, 2001
- 2) 峰岸順一：低騒音舗装のねじれ抵抗性評価，東京都土木技術年報，pp.99-110, 2000
- 3) 黒田智，郡司保雄，高畑浩二：耐摩耗性を考慮した排水性舗装の配合に関する一考察，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001
- 4) (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：特殊荷重を受ける箇所の舗装設計について，道路建設 No.624, pp.44-55, 2000.1
- 5) 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
- 6) 七五三野茂，皆方忠雄：日本道路公団における排水性舗装の現況と課題，アスファルト Vol.41, No.196, 1998.7
- 7) (社)日本道路協会：排水性舗装技術指針(案)，1996
- 8) 向後憲一，加藤義輝：排水性アスファルト混合物の再生利用技術に関する検討，土木学会舗装工学論文集 Vol.6, 2001
- 9) 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
- 10) 尾本志展，西村拓治，井上武美：オーバーレイの付着の評価，(社)セメント協会 道路技術専門委員会報告 R-6, 1988

A STUDY OF AGGREGATE FRETTING RESISTANCE OF POROUS ASPHALT PAVEMENTS

Kenichi KOUGO, Tatuhiro WATANUKI and Takemi INOUE

Causes of aggregate fretting of porous asphalt pavements are classified in two categories. The first category is due to the application of impact load on the brittle condition of binder at low temperature. The second category is due to the application of torsion and/or horizontal shear load on the low consistency of binder at high temperature. We conducted three types of laboratory experiment by changing binder type and air void content. Adapted three types of test method are Cantabro test, repeated torsional load test and direct shear test considering impact load, torsional load and shear load respectively. Test results showed that binder type and air void content had great influence on aggregate fretting resistance of porous asphalt mixtures .