

4. 二層式低騒音舗装の耐久性に関する検討

Durability of the Two-layer Type Low-noise Pavement

技術支援課 狭間 博、峰岸 順一

1. まえがき

東京都では、都道での沿道に対する騒音対策として平成7年度から骨材の最大粒径を13mmとした一層の低騒音舗装（以下、「現行型」と称す）を本格的に適用してきた。その後、平成17年度から優先的対策道路区間については原則として、さらなる騒音低減効果のある二層式低騒音舗装（以下、「二層式」と称す）を導入してきており、平成26年度末時点での累積延長は約65kmで、道路交通騒音対策の施策として着実に実績を上げている。

この二層式は、タイヤ/路面騒音の低減機能層となる表層が二層で構成され、上層は骨材最大粒径が5mmで厚さ2cm、下層は骨材最大粒径が13mmで厚さ5cmとなっており、二層を同時に施工することができる。車両の走行路面となる上層は5mmという小粒径骨材を使用し、空隙率が20%程度であることから、走行による破損が散見され、これまでの実態調査によると骨材飛散によるものが大半であることが分かっている。

このように二層式については騒音低減効果が期待できるものの、骨材飛散等に対する耐久性が低く、また機能の持続性に課題が残されている。

このような課題に対して、近年さらなる高耐久性を目指した各種の小粒径用のアスファルトが技術開発されていることから^{1)~4)}、これらを騒音低減機能層に適用することを想定して、室内試験を行い、性状や耐久性等について検討・評価したので、その結果について報告する。

2. 調査内容

(1) アスファルト混合物の概要

現状での現行型及び二層式における構造及びアスフ

表-1 現行型の構造及びアスファルト

構造	アスファルト	
(表層) 騒音低減 機能層 厚さ：5cm	ポーラスアス ファルト混合物	ポリマー 改質アスファルトH型
		骨材の最大粒径：13mm 目標空隙率：20%程度
(基層)	粗粒度アス ファルト混合物	ポリマー 改質アスファルトII型

表-2 二層式の構造及びアスファルト

構造	アスファルト	
(表層) 騒音低減 機能層 厚さ：7cm	上層 厚さ：2cm	高耐久性ポリマー 改質アスファルトH型 骨材の最大粒径：5mm 目標空隙率：18~25%
	下層 厚さ：5cm	ポリマー 改質アスファルトH型 骨材の最大粒径：13mm 目標空隙率：16~22%
(基層)	粗粒度アス ファルト混合物	ポリマー 改質アスファルトII型

アルト混合物は表-1及び表-2に示すとおりである。

表にもあるように、現行型では騒音低減機能層である表層にポーラスアスファルト混合物として“ポリマー改質アスファルトH型”が使用されている。また、二層式においては、表層のうちの下層には現行型の表層と同様な“ポリマー改質アスファルトH型”が使用されているが、上層には“高耐久性ポリマー改質アスファルトH型”が使用されている。

これらに対し、さらなる高耐久性を目指した小粒径用アスファルトとしての“小粒径用高耐久性ポリマー改質アスファルトH型”の技術開発が最近進展していることから、これを二層式の表層のうちの上層に、さらには一層である現行型の表層に適用することも想定して、今回の検討対象とすることとした。

これに加え、検討は適用を想定している“小粒径用高耐久性ポリマー改質アスファルトH型”だけでなく、

これと比較するために、従来から使用されている上記した“ポリマー改質アスファルトH型”と“高耐久性ポリマー改質アスファルトH型”も対象としている。

なお、これらのアスファルトを使用した混合物は以後下記のように表記する。

- ① “小粒径用高耐久性ポリマー改質アスファルトH型”を使用した混合物 ⇒ 「小粒径As」
- ② “高耐久性ポリマー改質アスファルトH型”を使用した混合物（二層式の表層の上層に使用実績） ⇒ 「高耐久As」
- ③ “ポリマー改質アスファルトH型”を使用した混合物（現行型の表層に使用実績） ⇒ 「ポリマーAs」

(2) 検討対象としたアスファルト混合物

検討対象としたアスファルト混合物は小粒径Asが製品別の4種類（小粒径As-A、B、C、D）、またポリマーAsと高耐久Asについてはこれまでに使用実績があることから、それぞれ1種類ずつとした。

これらを整理すると、表-3に示すとおりとなる。

(3) 試験項目

検討において実施した試験項目は表-4に示すように、それぞれのアスファルト混合物の流動性や骨材飛散、摩耗性等に対する抵抗性を把握することを主眼に選定した。

また、各試験でのすべての供試体は本来の試験に先立ち、アスファルト混合物としての基本性状（密度、空隙率、締固め度）を把握するために、密度試験を行った。

なお、ここでの各試験は(社)日本道路協会の「舗装調査・試験法便覧」⁵⁾（以下、「便覧」と称す）及び「舗装性能評価法 別冊」⁶⁾（以下、「別冊」と称す）に準拠して行っている。

3. 供試体の作製及び試験方法

(1) 供試体の作製

各試験に供するためのアスファルト混合物の供試体は、使用材料の品質及び混合物の配合等について「東京都建設局土木材料仕様書」⁷⁾（以下、「材料仕様書」と称す）及び「二層式低騒音舗装（車道）設計・施工

表-3 検討対象のアスファルト混合物

アスファルト	製造方法	呼称	目標空隙率
小粒径用 高耐久性ポリマー 改質アスファルトH型	プレミックス タイプ	小粒径As-A	18~25% の上限
		小粒径As-B	
	プラント ミックス タイプ	小粒径As-C	
		小粒径As-D	
高耐久性ポリマー 改質アスファルトH型 ポリマー改質 アスファルトH型	プレミックス タイプ	高耐久As	16~22% の上限
		ポリマーAs	

表-4 試験項目

試験名	目的	評価指標
マーシャル 安定度試験	流動や変形に 対する抵抗性を評価	安定度(S) フロー値(F) 安定度/フロー値(S/F)
ホイール トラッキング試験	耐流動性 (わだち掘れ)を評価	動的安定度(DS)
カンタプロ試験	骨材飛散抵抗性を評価	カンタプロ損失率
ねじり骨材飛散試験	タイヤのねじりにより 骨材が飛散する程度を評価	ねじり骨材飛散率
ラベリング試験 (往復チェーン型)	耐摩耗性を評価	すり減り量

要領(案)」⁸⁾（以下、「要領案」と称す）に準拠するとともに、小粒径Asについては各製品がそれぞれに推奨している仕様や配合設計等に基づいて作製した。

作製に際して、それぞれのアスファルト混合物の目標とした空隙率は前掲した表-3に示すように設定した。

なお、供試体はアスファルト混合物の1種類に対して3個ずつ作製している。

供試体の形状寸法等については各試験の項目において説明する。

(2) マーシャル安定度試験

アスファルト混合物の流動や変形に対する抵抗性を評価するために行うもので、安定度(S)とフロー値(F)が求められる。このときの安定度とフロー値の関係は図-1に示すとおりである。

なお、図にもあるようにフロー値は変形量を表しており、この値が大きすぎる（変形しやすい）とアスファルト混合物はわだち掘れを起こしやすく、逆に小さすぎる（変形しにくい）とひび割れを起こしやすいことから安定度とのバランスが必要となる。

供試体は形状寸法が円筒状のφ10.16cm×(H)6.35cmで、小粒径Asが製品別の4種類、高耐久AsとポリマーAsがそれぞれ1種類である。

試験の状況は写真-1に示すとおりである。

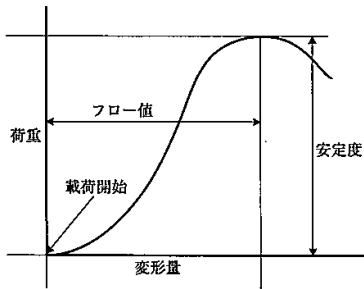


図-1 安定度とフロー値の関係

構造		アスファルト混合物					
二層式	表層 厚さ：7cm	上層 厚さ：2cm	小粒径As -A	小粒径As -B	小粒径As -C	小粒径As -D	高耐久As
	下層 厚さ：5cm	ポリマーAs					
一層式	表層 厚さ：3cm	小粒径As -A	小粒径As -B	小粒径As -C	小粒径As -D		
一層式	表層 厚さ：4cm	小粒径As -A	小粒径As -B	小粒径As -C	小粒径As -D		
一層式	表層 厚さ：5cm	ポリマーAs					

図-2 ホイールトラッキング試験の供試体の構造



写真-1 マーシャル安定度試験



写真-2 ホイールトラッキング試験

(3) ホイールトラッキング試験

アスファルト混合物の耐流動性（わだち掘れ）を評価する指標である動的安定度（DS: Dynamic Stability）を求めるために行うものである。

供試体は平面形状寸法が正方形の(B)30cm×(L)30cmで、小粒径Asの4種類については図-2に示すような構造の二層式、また一層式への適用も想定して、一層での厚さが3cmと4cmのそれぞれを作製した。さらに、比較のために二層式では高耐久Asを1種類（これが現状の二層式）、一層式ではポリマーAsを1種類（厚さは5cmで、これが現行型）も対象としている。

なお、供試体の厚さは前述しているように、二層式で7cm、一層式で3cm、4cm、5cmとしているが、便覧によると、試験条件の原則としては5cmとなっている。

試験の状況は写真-2に示すとおりである。

(4) カンタブロ試験

骨材飛散抵抗性を評価する指標であるカンタブロ損失率を求めるために行うものである。

供試体の形状寸法や種類は前述したマーシャル安定度試験と同様であるが、試験温度としては便覧を参考に-20℃と0℃の2条件としている。



写真-3 カンタブロ試験

試験の状況は写真-3に示すとおりである。

(5) ねじり骨材飛散試験

タイヤのねじりによって舗装路面の骨材が飛散する程度を評価する指標であるねじり骨材飛散率を求めるために行うものである。

供試体は平面形状寸法が正方形の(B)30cm×(L)30cmで、図-3に示すように、二層式が小粒径Asの4種類と高耐久Asの1種類（これが現状の二層式）、一層式ではポリマーAsの1種類（厚さは5cmで、これが現行型）を対象としている。

なお、供試体の厚さは二層式で7cmとしているが、

別冊によると、ホイールトラッキング試験と同様に試験条件の原則としては5cmとなっている。

また、別冊によると、試験は「タイヤ回転タイプ A」、「タイヤ回転タイプ B」及び「供試体スライドタイプ」の3タイプあるが、採用実績等を考慮し、ここでは「タイヤ回転タイプ B」によることとした。試験における測定時間は30、60、90分としている。

試験の状況は写真-4 に示すとおりである。

(6) ラベリング試験

アスファルト混合物の耐摩耗性を評価する指標であるすり減り量を求めるために行うものである。

供試体は平面形状寸法が長方形の(B)15cm×(L)40cmで、図-4 に示すように、二層式が小粒径Asの4種類と高耐久Asの1種類(これが現状の二層式)、一層式ではポリマーAsの1種類(厚さは5cmで、これが現行型)を対象としている。

試験の状況は写真-5 に示すとおりである。

構造		アスファルト混合物					
二層式	表層 厚さ: 7cm	上層 厚さ: 2cm	小粒径As -A	小粒径As -B	小粒径As -C	小粒径As -D	高耐久As
	下層 厚さ: 5cm	ポリマーAs					
一層式	表層 厚さ: 5cm	ポリマーAs					

図-3 ねじり骨材飛散試験の供試体の構造



写真-4 ねじり骨材飛散試験

構造		アスファルト混合物					
二層式	表層 厚さ: 5cm	上層 厚さ: 2cm	小粒径As -A	小粒径As -B	小粒径As -C	小粒径As -D	高耐久As
	下層 厚さ: 3cm	ポリマーAs					
一層式	表層 厚さ: 5cm	ポリマーAs					

図-4 ラベリング試験の供試体の構造



写真-5 ラベリング試験

4. 試験結果

(1) 基本性状(密度、空隙率、締固め度)

本来の試験に適用するすべての供試体に対して事前に実施した密度試験による基本性状(密度、空隙率、締固め度)は図-5~7 に示すとおりである。

なお、図での凡例はmax、minが試験結果における各供試体のうちの最大と最小を、またaveは平均値を示している(これは以後の図においても同様とする)。

1) 密度

小粒径Asの4種類の密度(ave)は1.941~1.950 g/cm³で、高耐久Asの1.956 g/cm³に比べ若干低めの値となっている。これは、後述する空隙率の違いによる影響である。

ポリマーAsについては材料仕様書や要領案に規格値として1.95g/cm³以上と示されているが、すべての供試体がこの規格を満足し、平均値としては1.988 g/cm³となっている。

なお、小粒径Asの密度は4種類のうち3種類がポリマーAsの規格値を下回っている。

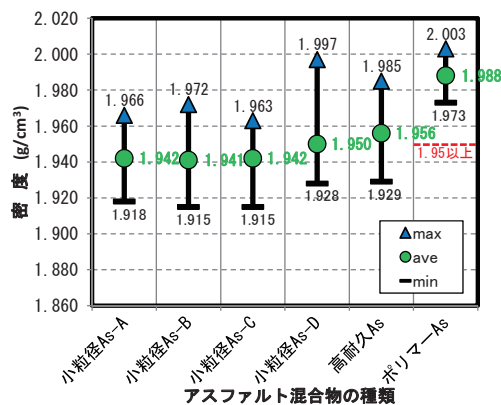


図-5 密度

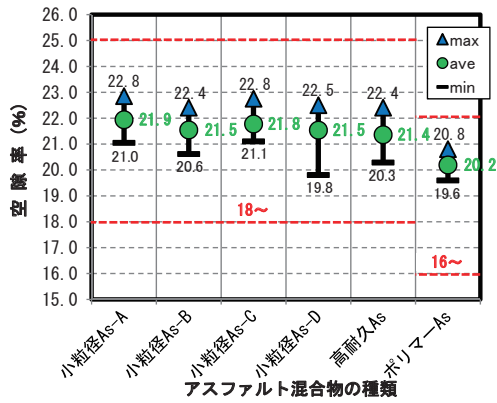


図-6 空隙率

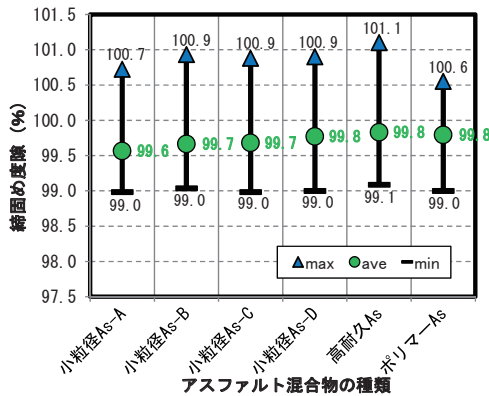


図-7 締固め度

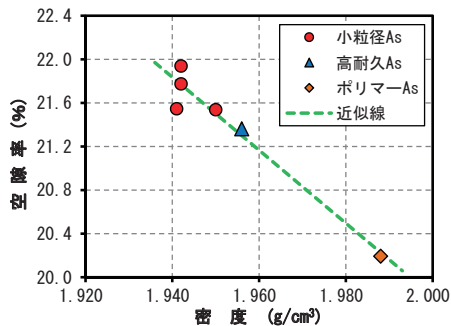


図-8 密度と空隙率の関係

2) 空隙率

小粒径Asの4種類の空隙率(ave)は21.5~21.9%で、高耐久Asの21.4%より若干高めとなっている。これらは目標として設定した18~25%のほぼ中間的な値である。

ポリマーAsは20.2%で、目標として設定した16~22%のほぼ上限となっている。

ここで、それぞれのアスファルト混合物における密度(ave)と空隙率(ave)の関係を整理すると図-8に示すとおりとなる。図にもあるように、両者の値は混合物の違いにかかわらず非常に良い相関関係にあり、

空隙率が低くなると密度は大きくなっていく。

3) 締固め度

締固め度はすべてのアスファルト混合物で100±1%以内に収まっており、供試体の作製は適切であったと判断できる。

(2) マーシャル安定度試験

試験により求められた安定度(S)及びフロー値(F)は図-9、10に示すとおりであり、この両者から求められた安定度/フロー値(S/F)は図-11に示すとおりである。

安定度(ave)は高耐久AsとポリマーAsがそれぞれ5.85kN、6.31kNであるのに対し、小粒径Asは6.46~7.74kNとなっており、小粒径Asの4種類とも高耐久AsとポリマーAsを上回る結果となった。なお、安定度については高耐久性As、ポリマーAsともに材料仕様書や要領案で目標値が4kN以上となっているが、すべての混合物がこれを満足していた。

フロー値(ave)は小粒径Asが $32\sim 47\times 10^{-2}\text{mm}$ であるのに対し、高耐久Asは $42\times 10^{-2}\text{mm}$ で、4種類の小粒径Asのほぼ中間的な値を示した。なお、ポリマーAsのフロー値は $32\times 10^{-2}\text{mm}$ であり、要領案に示されている規格値 $20\sim 40\times 10^{-2}\text{mm}$ を満足していた。

S/F(ave)は、混合物ごとの値の大小の傾向が安定度のそれとよく近似している。また、高耐久AsとポリマーAsが1,950kN/m、2,104kN/mであるのに対し、小粒径Asは2,152~2,580kN/mとなっており、4種類とも高耐久AsとポリマーAsを上回る結果となった。

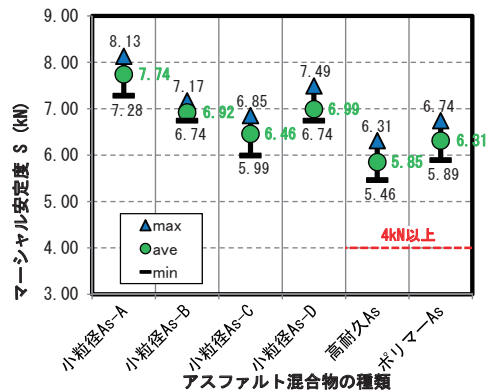


図-9 マーシャル安定度 (S)

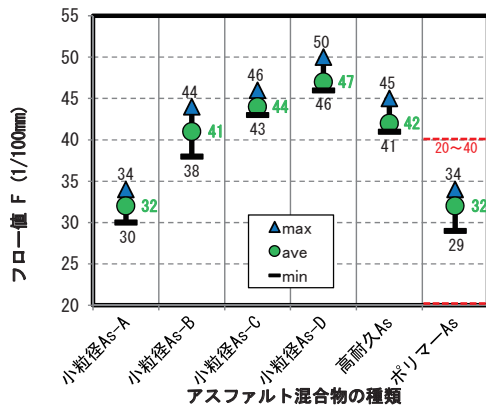


図-10 フロー値 (F)

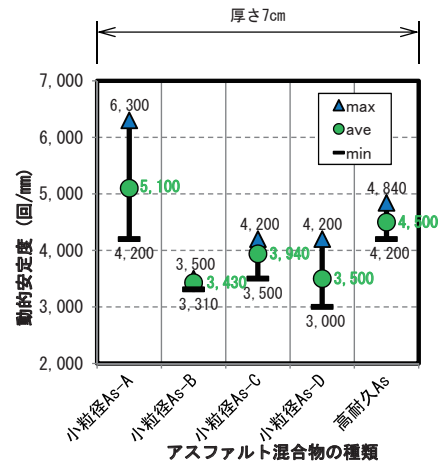


図-12 動的安定度 (二層式)

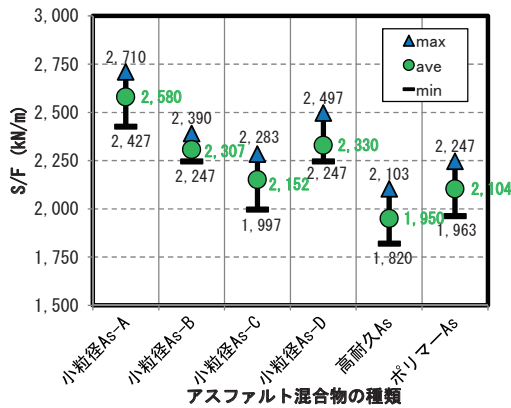


図-11 安定度(S)/フロー値(F)

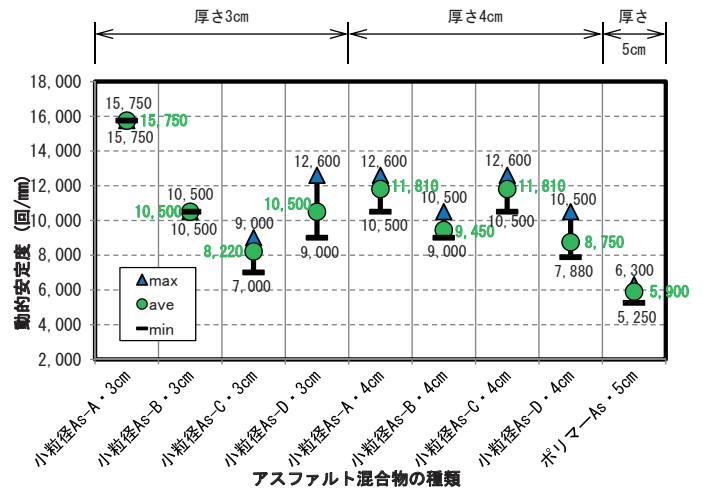


図-13 動的安定度 (一層式)

なお、S/F (ave) は便覧において、参考値として 1,500 ~ 4,900kN/m (ただし、アスファルト混合物の種類については特に記述がない) であれば安定すると示されており、すべての混合物がこの範囲内となった。

(3) ホイールトラッキング試験

二層式、一層式でのそれぞれの結果である動的安定度は図-12、13 に、また供試体の厚さと動的安定度の関係は図-14 に示すとおりである。

ここで、便覧によると、試験における供試体の標準的な厚さは 5cm としている。この試験は図-14 に示すように、供試体底面の拘束の影響を受けやすく、厚さが厚くなるほど動的安定度は小さくなる傾向があることから、ここでは同じ厚さの供試体どうしでの相対的な評価とする必要がある。

二層式での動的安定度 (ave) は高耐久 As が 4,500 回/mm であるのに対し、小粒径 As は小粒径 As-A の 1 種類のみが 5,100 回/mm とやや上回っているものの、それ以外の 3 種類はすべて下回る結果となった。

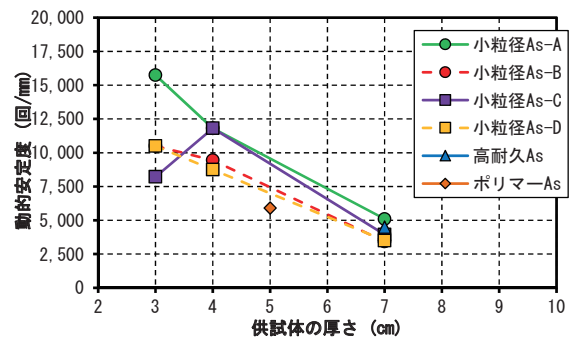


図-14 供試体の厚さと動的安定度の関係

一層式で厚さが 3cm の場合も小粒径 As-A を除く 3 種類は 8,220~10,500 回/mm と低めの値となったが、小粒径 As-A は 15,750 回/mm とやや大きめの値を示した。

また、一層式で厚さが 4cm の場合は小粒径 As の 4 種類が 8,750~11,810 回/mm と比較的近似した値を示したが、このうちでも小粒径 As-A と小粒径 As-C は 11,810 回/mm とやや大きめの値を示した。

なお、動的安定度については材料仕様書や要領案で

高耐久 As、ポリマーAs とともに 3,000 回/mm 以上と規格値が示されているが、このときの供試体の厚さに関しては明確な記述がない。前述したように、この試験結果は供試体の厚さに影響を受けやすいことから、ここでは規格値との比較は行わない。

(4) カンタブロ試験

試験結果のうちカンタブロ損失率は図-15 に、また試験温度と損失率 (ave) の関係は図-16 に示すとおりである。

これらによると、試験温度と損失率の関係はすべての供試体でほぼ同じような勾配となる傾向を示している。また、損失率は試験温度が-20~0℃の範囲では高耐久 As と比較して、小粒径 As-B と小粒径 As-C がやや低めの値を示しており、骨材の飛散抵抗性を有している。

(5) ねじり骨材飛散試験

試験結果のうちねじり骨材飛散率は図-17 に、また試験時間と骨材飛散率 (ave) の関係は図-18 に示すとおりである。図中に値がないのはその試験時間までに骨材がすべて飛散してしまい、測定不能となったものである。

試験時間と骨材飛散率の関係はポリマーAs を除いた供試体でほぼ同じような勾配となる傾向を示している。また、骨材飛散率は高耐久 As と比較して、小粒径 As-A のみがやや低めの値を示しており、ねじりに対して骨材飛散の抵抗性を有している。

(6) ラベリング試験

ラベリング試験結果によるそれぞれのアスファルト混合物のすり減り量は図-19 に示すとおりである。

すり減り量 (ave) は高耐久 As が 0.80cm² であるのに対し、小粒径 As は 0.40~1.00 cm² で、このうち小粒径 As-B と小粒径 As-C が高耐久 As よりも低めの値 (それぞれ、0.70cm²、0.40cm²) を示しており、摩耗性に対する抵抗性を有している。

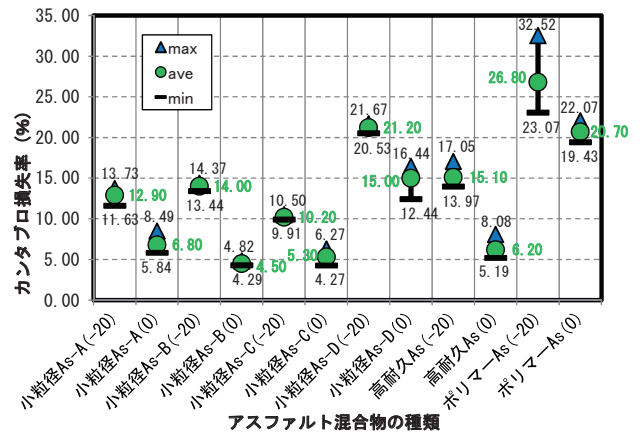


図-15 カンタブロ損失率 () 内は試験温度

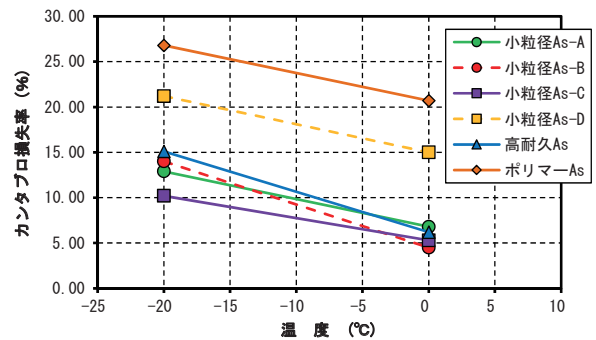


図-16 試験温度とカンタブロ損失率の関係

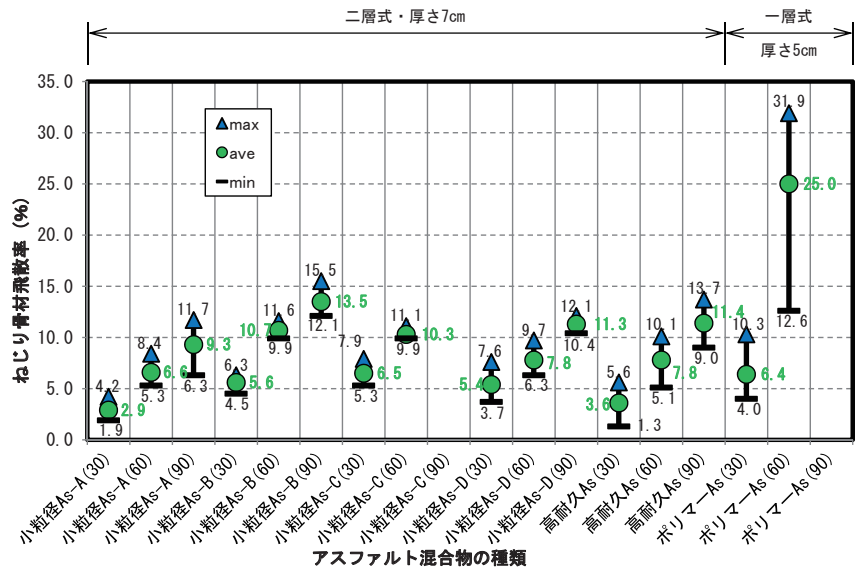


図-17 ねじり骨材飛散率 () 内は測定時間 (分)

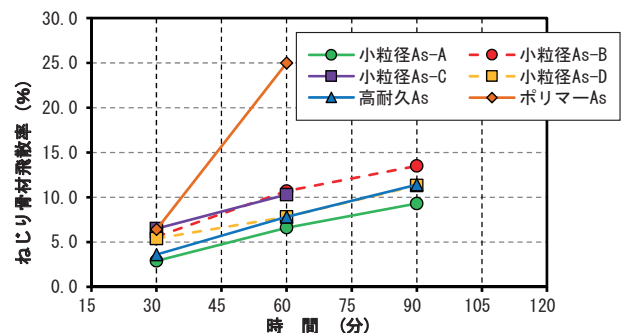


図-18 試験時間とねじり骨材飛散率の関係

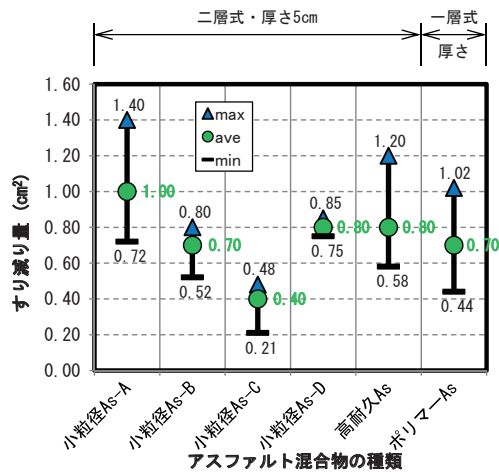


図-19 すり減り量

(7) 総合評価

これまでの結果について、現在実用されている高耐久Asが有している性状を基準にし、小粒径Asの耐久性に対する評価をすると表-5に示すとおりとなる。

なお、表中における記号はそれぞれ下記に示すような基準をもとに評価をしている。また、ここでの評価はあくまでも今回の試験結果のみによっていることに注意願いたい。

- ◎：高耐久Asに比べ性状が優っている
- ：高耐久Asと同程度
- △：高耐久Asに比べ性状がやや劣っている

これによると、わだち掘れに対する耐流動性や交差点等でのねじり骨材飛散抵抗性については小粒径As-Aが、また骨材飛散抵抗性やチェーン走行に対する耐摩耗性については小粒径As-B、小粒径As-Cが高耐久As

表-5 耐久性に対する総合評価

アスファルト	製造方法	呼称	マーシャル性状	動的安定度	カンタプロ損失率	ねじり飛散	ラベリング性状
				耐流動性	骨材飛散抵抗性	ねじり骨材飛散抵抗性	耐摩耗性
小粒径用高耐久性ポリマー改質アスファルトH型	ブレミックスタイプ	小粒径As	小粒径As-A	◎	◎	○	◎
			小粒径As-B	◎	△	◎	△
	プラントミックスタイプ	小粒径As	小粒径As-C	◎	△	◎	△
			小粒径As-D	◎	△	△	○

より優っていることが分かる。

5. まとめ

高耐久性を目指して開発されている小粒径Asの4種類の製品を二層式の表層の上層に適用することを想定し、現在実用されている高耐久Asと比較したところ、対象とした耐久性のすべての性状で高耐久Asを上回る小粒径Asは確認できなかったものの、各々の個別の性状では優っていることが確認できた。また、この小粒径Asを現行型である一層式の表層に適用することについても層の厚さの不明瞭点はあるものの効果を有していることが確認できた。

特に低騒音舗装での破損は骨材飛散やチェーン装着での走行によるすり減りが大半であることが分かっており、小粒径Asはこれらに対する抵抗性(骨材飛散抵抗性、耐摩耗性)も高いことが確認できた。

小粒径Asは一部ですでに現道への適用が図られ、良好な供用状態が保たれているとの報告⁹⁾もあることから、今後はさらなる調査検討を進め、二層式だけでなく一層式への適用も含めて、都道への実用化を目指していきたい。

参 考 文 献

- 1) 内海、細木、呉：ポーラスアスファルト混合物の機能の長寿命化に関する一検討、第31回日本道路会議、2015.10
- 2) 櫻井、仲野、焼山：特殊改質アスファルトを用いた小粒径ポーラスアスファルト混合物の性能、第31回日本道路会議、2015.10
- 3) 今井、後藤：ねじれ抵抗性改善型改質アスファルトの評価方法に関する検討、第31回日本道路会議、2015.10
- 4) 谷口、黒田、森川：小粒径ポーラスアスファルト舗装の長寿命化への取り組み、第31回日本道路会議、2015.10
- 5) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、平成19年6月
- 6) (社)日本道路協会：舗装性能評価法 別冊 一必要に応じ定める性能指標の評価法編一、平成20年3月
- 7) 東京都建設局：平成27年土木材料仕様書、平成27年4月
- 8) 東京都建設局 道路管理部：二層式低騒音舗装(車道) 設計・施工要領(案)、平成21年12月
- 9) 細木、横島、蔵治：ポーラスアスファルト舗装を長寿命化するバインダの開発、改質アスファルト 第47号、pp.4~pp.10、平成28年