

4. 二層式低騒音舗装の耐久性に関する検討（その2）

Durability of the Two-layer Type Low-noise Pavement (Part2)

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年度から骨材最大粒径13mmとした一層の低騒音舗装（目標空隙率は16～22%程度。以下、「現行型」と称す）、また平成17年度からは優先的対策道路区間について原則として、さらなる騒音低減効果を確認した二層式低騒音舗装（以下、「二層式」と称す）を導入している。

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5mmで厚さ2cm、下層は骨材最大粒径13mmで厚さ5cmとなっており、専用のフィニッシャーを用いることにより二層を同時に施工することができる。車両の走行路面である上層は5mmという小粒径骨材を使用し、目標空隙率が18～25%程度としていることから、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であることが分かっている。なお、この現象は特に降雪時のタイヤチェーン装着車の走行によるものが顕著である。

路面の最上層に小粒径骨材を適用することで騒音低減の効果は発揮されるが、一方骨材飛散等に対する耐久性、また機能の持続性については未知の状況にある。

このような状況に対して、近年さらなる高耐久性を有した各種の小粒径用のアスファルトが技術開発されており^{1)~4)}、昨年度は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、その性状や耐久性等について検討・評価した。⁵⁾

今年度は昨年度に引き続き、この小粒径用のアスファルトを用いた混合物について、騒音低減機能層に適用することを想定して舗装の厚さや空隙率を変化させたときの性状や耐久性等について検討・評価を加えた。

昨年度分については重複することになるが、比較をする意味もあるため昨年度の成果に今年度の結果を追加し、これらの結果をまとめて報告する。

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ァルト混合物は表-1及び表-2に示すとおりである。

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、これを騒音低減機能層に適用することを想定して、今回の検討対象とすることとした。

これに加え、比較のために、従来から使用されている表-1、表-2に示した“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

表-1 現行型の構造及びアスファルト

| 構造 | 混合物 | 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：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 |

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 | ポーラスアス ファルト混合物 | 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 |

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下、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表-3に示すように、製品別で小粒径 As が 5 種類（小粒径 As-A、B、C、D、E）、高耐久 As が 2 種類（高耐久 As-A、E）及びポリマー As は 2 種類（ポリマー As-A、E）ずつとした。

(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等に対する抵抗性を把握することを主眼に選定した。

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」⁶⁾（以下、「便覧」と称す）及び「舗装性能評価法 別冊」⁷⁾（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」⁸⁾（以下、「材料仕様書」と称す）及び「二層式低騒音舗装（車道）設計・施工要領（案）」⁹⁾（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。

表-3 検討対象のアスファルト混合物

| アスファルト | 呼称 | 製造方法 | 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 (小粒径As) | 小粒径As-A | ブレミックス タイプ | 22%程度 |
| | 小粒径As-B | | |
| | 小粒径As-C | プラント ミックス タイプ | |
| | 小粒径As-D | | |
| | 小粒径As-E | | |
| 高耐久性ポリマー 改質アスファルトH型 (高耐久As) | 高耐久As-A | ブレミックス タイプ | 17%程度 |
| | 高耐久As-E | | 22%程度 |
| ポリマー改質 アスファルトH型 (ポリマーAs) | ポリマーAs-A | | 20%程度 |
| | ポリマーAs-E | | |

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 |



写真-1 マーシャル安定度試験

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。

供試体は「便覧」に準拠して作製し、形状寸法は円筒状でφ10.16cm×(H)6.35cmとした。

試験の状況は写真-1に示すとおりである。

(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とし、二層式については図-1に示すような構造で、小粒径Asの4種類と高耐久Asの

1種類とした。また、一層式については図-1に示すように、厚さを3cm及び4cmに想定して、それぞれの厚さで小粒径Asの5種類、高耐久AsとポリマーAsについては1種類ずつとした。さらに、比較のために現行型として厚さを5cmとしたポリマーAsの2種類も対象としている。

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、現行型で5cmとしているが、「便覧」では試験条件の原則として5cmとなっている。今回大部分の供試体でこの原則と異なる厚さになっているが、相対的な比較に主眼を置いていることからそのまま適用することとした。

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。

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。

供試体についてはホイールトラッキング試験と同様としている。また、供試体の厚さについても「別冊」では、ホイールトラッキング試験と同様に原則として5cmとなっているが、ここではそのまま適用することとした。

| 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 -A | | |
| | | 下層 厚さ：5cm | ポリマーAs-A | | | | | | |
| 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 | 小粒径As -E | 高耐久As -E | ポリマーAs -E |
| 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 | 小粒径As -E | 高耐久As -E | ポリマーAs -E |
| 現行型 | 表層 厚さ：5cm | | ポリマーAs-A | | | ポリマーAs-E | | | |

図-1 ホイールトラッキング試験及びねじり骨材飛散試験の供試体



写真-2 ホイールトラッキング試験



写真-3 カンタブロ試験



写真-4 ねじり骨材飛散試験

別冊によると、試験は「タイヤ旋回タイプ A」、「タイヤ旋回タイプ 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て、「タイヤ旋回タイプ B」によることとした。また、試験における測定時間は30、60、90、120分としている。

試験の状況は写真-4 に示すとおりである。

4. 試験結果

(1) 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-2、3 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-4 に示すとおりである。

安定度は同じ種類の混合物においてもややばらつきがみられるが、全体的な傾向として、高耐久 As、ポリマー As、小粒径 As の順に大きくなっている。特に、小粒径 As のうち小粒径 As-B~D は2種類ずつの高耐久 As、ポリマー As とほぼ同程度であるが、それらに比べ小粒径 As-A と空隙率が17%程度である小粒径 As-E はやや大きめの値となった。

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。

フロー値は大きく二つのグループに分けられ、小粒径 As-B~E と2種類の高耐久 As は41~47(1/100cm)であるのに対し、小粒径 As-A と2種類のポリマー As は30~32(1/100cm)と低めの値となった。

なお、「要領案」にはポリマー As に対する規格値として20~40(1/100cm)が示してあるが、後者のグループはこれを満たしている。

安定度とフロー値から求められる S/F も大きく二つのグループに分けられ、小粒径 As-A、小粒径 As-E と2種類のポリマー As は1,922~2,413(kN/m)であるのに対し、小粒径 As-B~D と2種類の高耐久 As は1,385~1,681(kN/m)とやや低めの値となった。

なお、S/F は「便覧」において、参考値として2,000~4,900kN/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いるが、小粒径 As-A とポリマー As-E のみがこの範囲

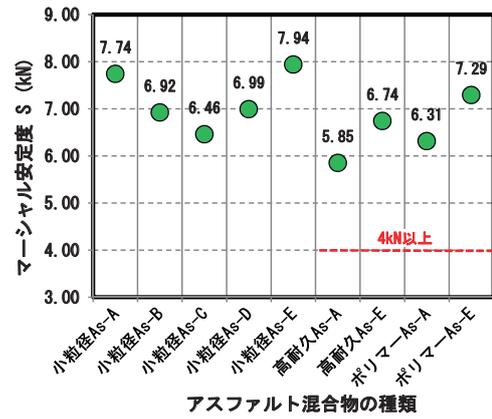


図-2 マーシャル安定度 (S)

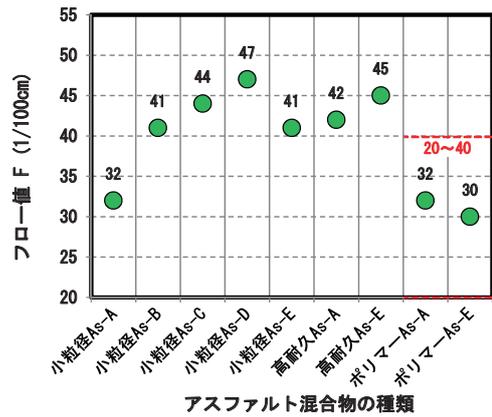


図-3 フロー値 (F)

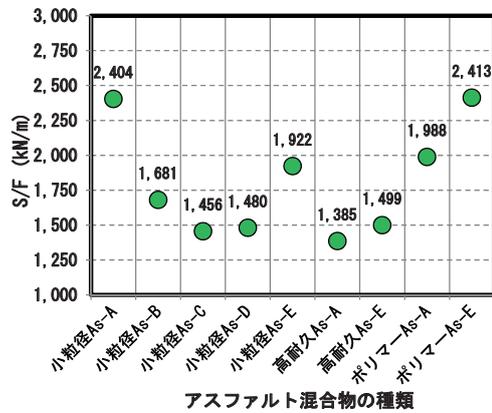


図-4 安定度(S)/フロー値(F)

内となった。

(2) ホイールトラッキング試験

試験より求められた動的安定度 (DS) は図-5 に、また供試体の厚さと動的安定度 (DS) の関係は図-6 に示すとおりである。

これらから以下のようなことが読み取れる。

- ① 「便覧」では、“動的安定度が6,000回/mmを超える場合には「6,000回/mm以上」として報告“としている。今回二層式(厚さ7cm)とした場合のすべ

ての供試体と厚さが4cmの高耐久As-E、厚さが5cmのポリマーAs-A以外は6,000以上となった。

- ② 動的安定度は、混合物の種類や空隙率の違いにかかわらず、供試体の厚さが薄いほど大きくなる傾向がある。これは供試体が薄いと底面の拘束により変形が抑制され、その結果から求まる動的安定度が大きくなるものと考えられる。
- ③ 小粒径Asと高耐久Asを比較してみると、二層式(厚さ7cm)においては顕著な差が見られない。また、供試体の厚さが3cmの場合でも、小粒径As-Aを除くと他の小粒径Asは高耐久Asとほぼ同程度である。
- ④ 供試体の厚さが4cmの場合はすべての小粒径Asが高耐久Asより大きな動的安定度となり、耐流動性(わだち掘れ)が高いことを確認した。
- ⑤ 小粒径Asのうち空隙率を他の混合物よりも小さく設定した小粒径As-Eに顕著な違いはなかった。
- ⑥ ポリマーAs-Eは供試体の厚さが3cm、4cm、5cmで他の混合物よりも大きな動的安定度を示しており、耐流動性が高いと判断できる。

なお、2種類のポリマーAsは供試体と同じ厚さの5cmで大きく異なる結果となった。このうち、ポリマーAs-Aは試験値が一つしかないので特定することは難しいが、他の混合物の状況から判断すると、この試験値は特異値の可能性が高い。

- ⑦ 動的安定度について「材料仕様書」や「要領案」で高耐久As、ポリマーAsともに3,000回/mm以上と規格値が示されている。このとき、供試体の厚さに関しては明確な記述がないが、今回対象とした供試体はすべてこの規格値を満たしている。

(3) カンタブロ試験

試験によるカンタブロ損失率は図-7に、また試験温度と損失率の関係は図-8に示すとおりである。

これらから以下のようなことが読み取れる。

- ① 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。
- ② 2種類のポリマーAsと小粒径Asのうち小粒径As-Dは二つの試験温度とも大きな損失率となった。
- ③ 小粒径Asの損失率は高耐久Asに比べ、上記した

小粒径As-Dを除き同程度か、それ以下となっており骨材飛散に対する抵抗性を有している。

- ④ 特に、空隙率が他の混合物よりも小さい小粒径As-Eは小さな損失率となり、空隙率の違いが認められた。

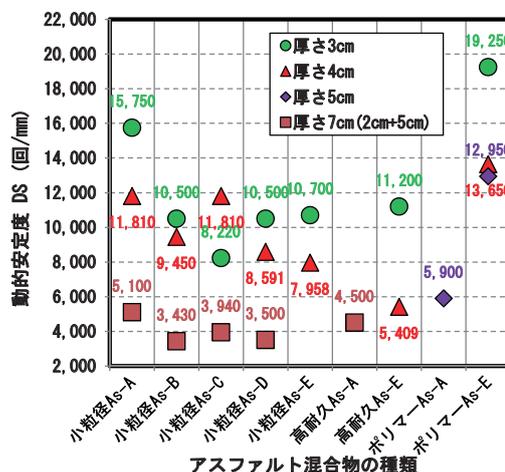


図-5 動的安定度

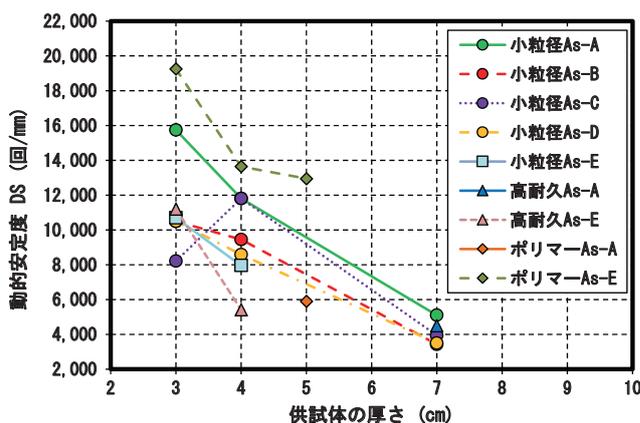


図-6 供試体の厚さと動的安定度の関係

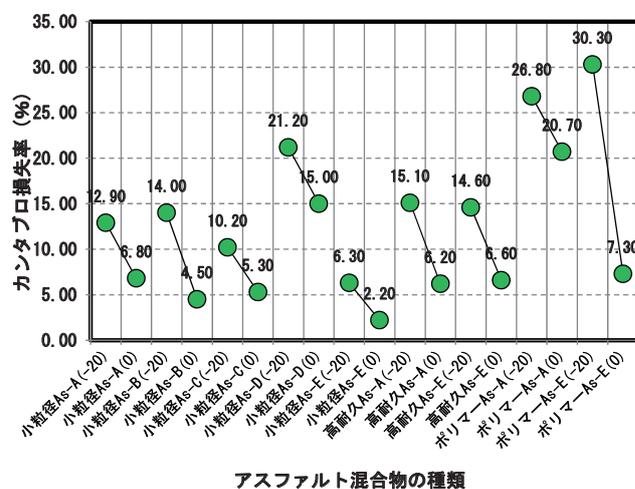


図-7 カンタブロ損失率 ()内は試験温度

(4) ねじり骨材飛散試験

試験によるねじり骨材飛散率は図-9に、また試験時間と骨材飛散率の関係について二層式は図-10、供試体の厚さが3cm、4cm、5cmの場合はそれぞれ図-11、図-12及び図-13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。

これらから以下のようなことが読み取れる。

① 二層式ではすべての供試体が試験時間 90~120 分

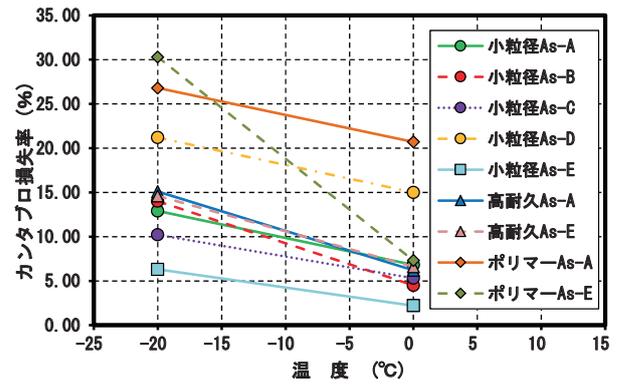


図-8 試験温度とカンタブロ損失率の関係

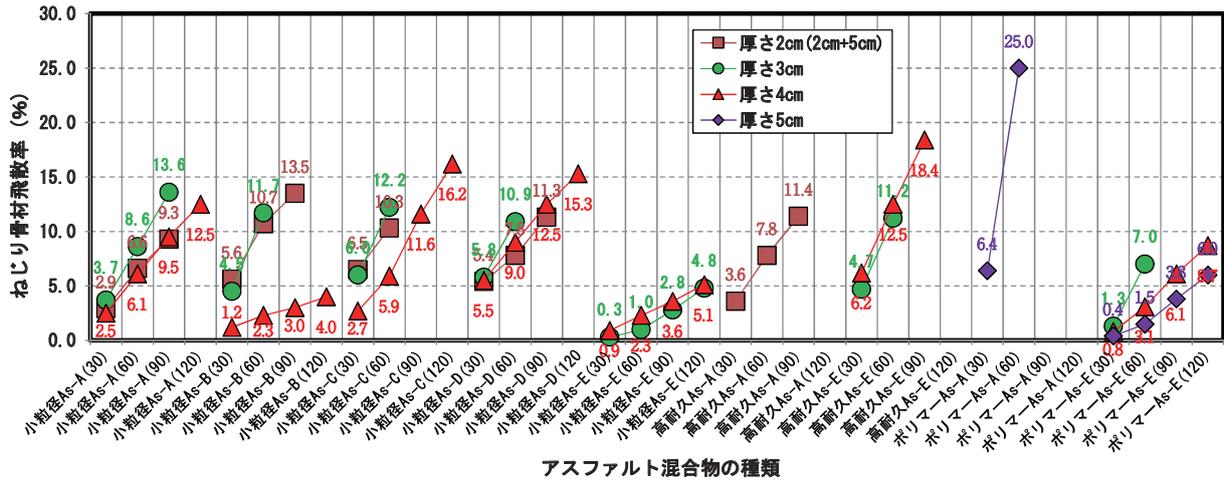


図-9 ねじり骨材飛散率 ()内は試験時間(分)

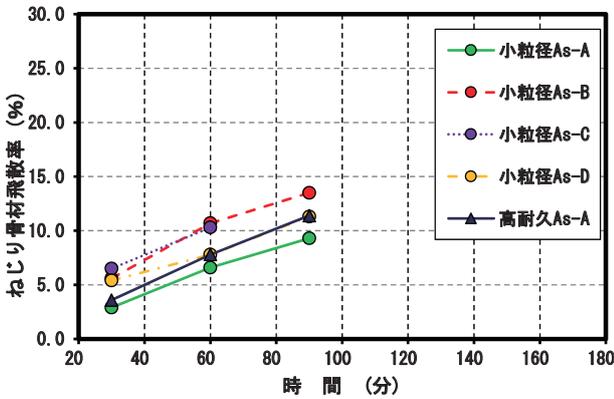


図-10 試験時間と骨材飛散率の関係 (二層式)

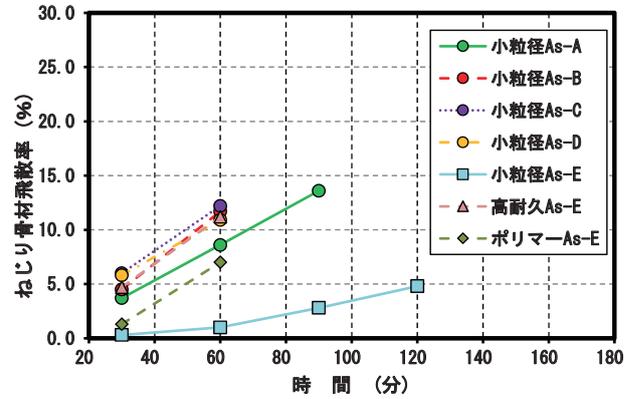


図-11 試験時間と骨材飛散率の関係 (厚さ3cm)

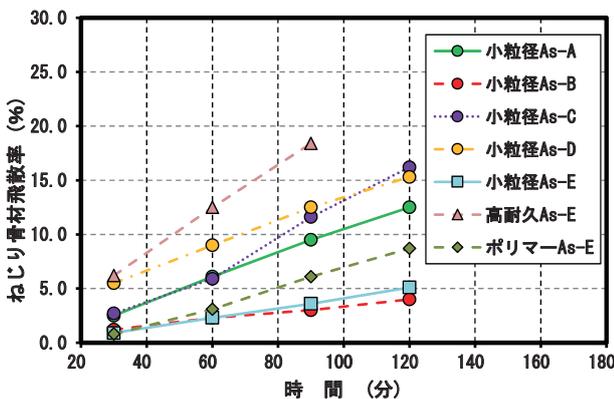


図-12 試験時間と骨材飛散率の関係 (厚さ4cm)

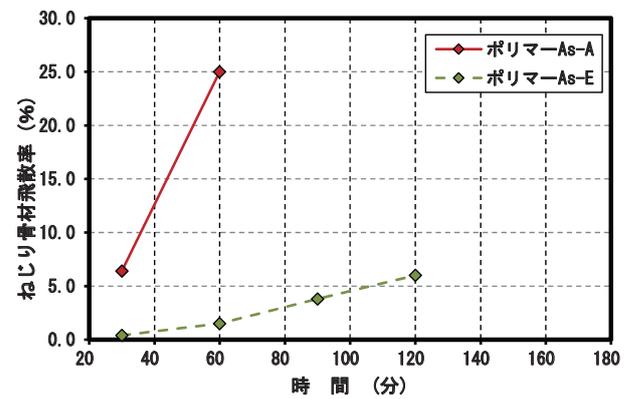


図-13 試験時間と骨材飛散率の関係 (現行型)

の間に骨材が飛散し測定不能となった。なお、二層式では表層のうちの上層のみを測定の対象とした。

- ② また、二層式では小粒径 As が高耐久 As とほぼ同じような飛散率か、それよりもやや大きくなったが、小粒径 As-A だけは高耐久 As よりも小さな飛散率となった。
- ③ 供試体の厚さが 3cm では小粒径 As-A が試験時間 90～120 分の間に測定不能となったが、空隙率が小さい小粒径 As-E は 120 分でも計測は可能であった。
 なお、これら以外の供試体は 60～90 分の間に計測不能となった。
- ④ また、供試体の厚さが 3cm では小粒径 As-B～D が高耐久 As-E とほぼ同程度の飛散率であったが、小粒径 As-A と小粒径 As-E、またポリマーAs-E は小さい飛散率となり、ねじりに対する骨材の飛散抵抗性を有している。特に、空隙率の小さい小粒径 As-E は小さな飛散率であった。
- ⑤ 供試体の厚さが 4cm では高耐久 As-E が試験時間 90～120 分の間に測定不能となったが、それ以外はすべて 120 分でも計測は可能であった。
- ⑥ また、供試体の厚さが 4cm では高耐久 As-E を除いたすべて供試体の飛散率が高耐久 As-E よりも下回り、骨材飛散抵抗性を有していることが確認できた。これは特に小粒径 As-B と空隙率が小さい As-E で顕著であった。
- ⑦ 供試体の厚さが 5cm の現行型では同じ種類の混合物であるポリマーAs どうしであるが、飛散率は大きく異なる結果となった。これは製品の違いによるばらつきと思われるが、要因は特定できなかった。

(5) 総合評価

これまでの結果をもとにして、現在二層式の上層に使用されている高耐久 As の性状を基準 (1.0) とした各混合物におけるそれぞれの評価項目 (評価項目と図中の記号の関係は表-5 に示すとおり) の比率は、二層式が図-14(1)に、またこの図の中心部のみを拡大したものは図-14(2)に示すとおりである。同様に、供試体の厚さが 3cm、4cm のものは図-15(1)と図-15(2)、図-16(1)と図-16(2)に示すとおりである。

図中の評価項目 (g) はねじり骨材飛散試験のうちの

表-5 図-14～16 における評価項目と記号

| 記号 | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) | (g) |
|------|----------|-------|---------|------|------------|-------|-------|
| 評価項目 | マーシャル安定度 | 動的安定度 | 骨材飛散抵抗性 | | ねじり骨材飛散抵抗性 | | |
| | | 耐流動性 | (-20℃) | (0℃) | (30分) | (60分) | (90分) |

試験時間 90 分における飛散率を表しているが、表記がないものはその時間では計測不能となったものである。

また、それ以外の項目で表記がないものは今回試験の対象としなかったものである。

なお、評価項目 (a)、(c) 及び (d) はマーシャル安定度試験、カンタプロ試験の結果を表しているが、これらには供試体の厚さによる違いがないので、すべての厚さともに同一の値となっている。

これらの図によると、二層式では高耐久 As に比べ、小粒径 As-A と空隙率が 17% の小粒径 As-E はすべての評価項目で同等か、あるいは優れていることが確認できた。これら以外の小粒径 As では項目によって優劣がややばらつく結果となり、このうち特に小粒径 As-D は評価項目 (c)、(d) 及び (e) の三つの項目において高耐久 As よりも劣っている。

また、供試体の厚さが 3cm の場合についても前述した二層式と同様な傾向がみられた。

供試体の厚さが 4cm の場合では高耐久 As よりも劣っていたのが小粒径 As-D での評価項目 (c) と (d) のみで、これらを除いた小粒径 As、評価項目では高耐久 As と同等か、あるいは優れていることが確認できた。このうち、特に小粒径 As-B と空隙率が 17% の小粒径 As-E は評価項目 (c)～(g) の骨材飛散抵抗性において高耐久 As を大きく優っている結果となった。

小粒径 As のうち空隙率を 17% 程度と小さくした小粒径 As-E は一部の項目で他の小粒径 As を大きく上回っていたが、小粒径 As の空隙率を 22% 程度としても十分に高耐久 As と同等以上の耐流動性や骨材飛散抵抗性を有していることが確認できた。

なお、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留意願いたい。

5. まとめ

本検討により高耐久性を目指して近年技術開発が進んでいる小粒径 As は使用実績のある高耐久 As と同等

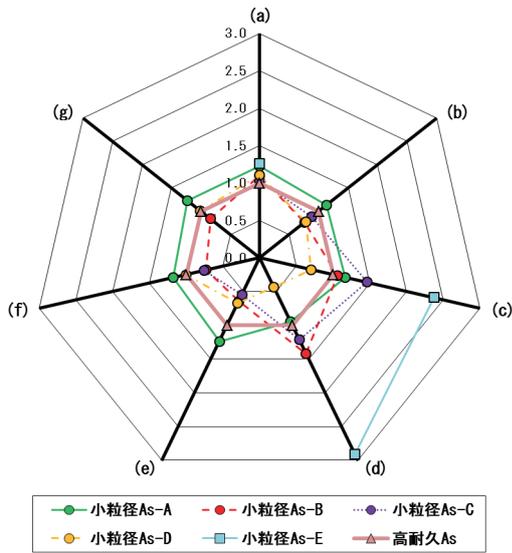


図-14(1) 総合評価・二層式

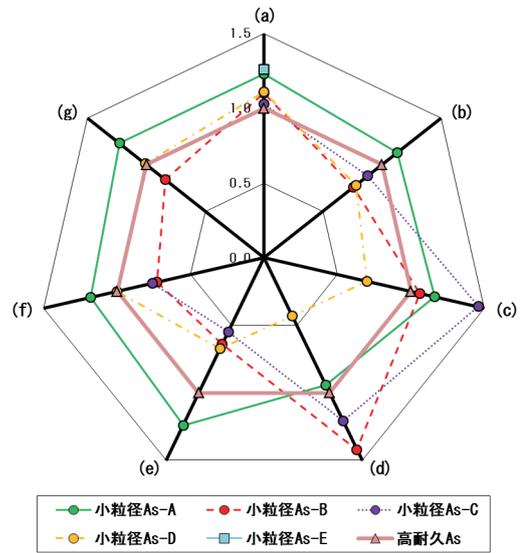


図-14(2) 総合評価・二層式 (拡大)

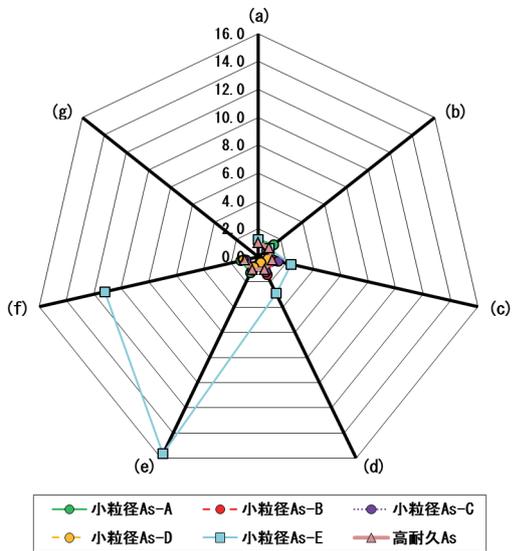


図-15(1) 総合評価・厚さ 3cm

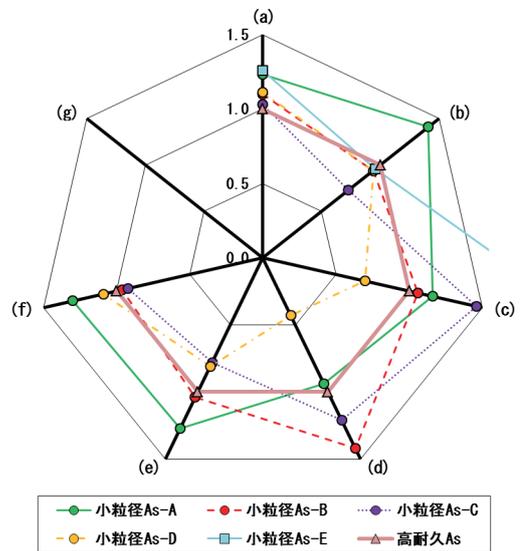


図-15(2) 総合評価・厚さ 3cm (拡大)

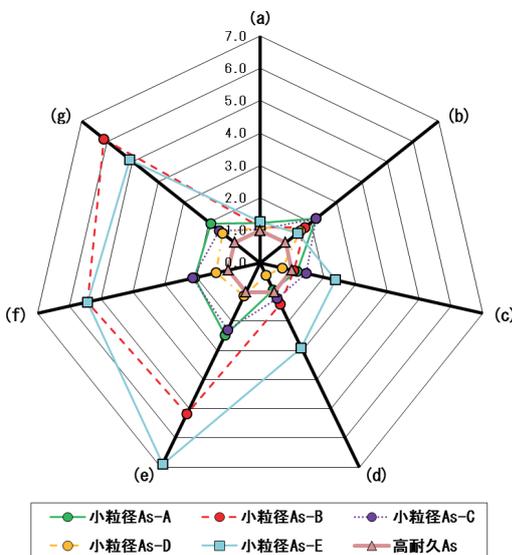


図-16(1) 総合評価・厚さ 4cm

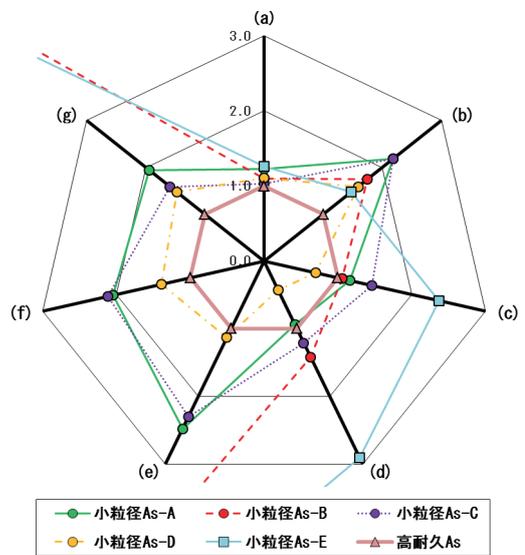


図-16(2) 総合評価・厚さ 4cm (拡大)

以上の耐流動性や骨材飛散抵抗性等を有していることが確認できた。

小粒径 As は他の事業者ですでに現道へ適用され、良好な供用状態が保たれているとの報告¹⁰⁾もあることから、今後は二層式だけでなく、二層式対応の専用のフ

ィニッシャーを使用する必要がない一層式についても、舗装の厚さ等も含め、室内試験や現道での試験施工等によりさらなる評価検討を進め、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組み、第 31 回日本道路会議、2015. 10
- 5) 狭間、峰岸(2016)：二層式低騒音舗装の耐久性に関する検討、平成 28. 都土木技術支援・人材育成センター年報、pp. 47～pp. 54
- 6) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、平成 19 年 6 月
- 7) (社)日本道路協会：舗装性能評価法 別冊 ー必要に応じ定める性能指標の評価法編一、平成 20 年 3 月
- 8) 東京都建設局：平成 27 年土木材料仕様書、平成 27 年 4 月
- 9) 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
- 10) 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