

ハイブリッド舗装混合物の配合設計に関する研究

本松 資朗¹・神谷 恵三²・高原 健吾³・松本 大二郎⁴

¹正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室主任（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

²正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室長（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

³正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

⁴日本道路公団試験研究所 舗装研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

表層の表面部には高機能舗装と同等のきめ深さを有する表面構造で、表層の内部は SMA と同等の密実さを有する表層用アスファルト混合物（ハイブリッド舗装混合物）の配合設計に関する検討を行った。従来のアスファルト混合物のマーシャル安定度試験を用いた配合設計法では、骨材比重や室内と現場との締固めエネルギーが異なると容積が変化しきめ深さが異なるという課題がある。そこで、現場の転圧条件に近いローラーコンパクトホイールトラッキング試験供試体を作製し、きめ深さと防水性などの観点からマーシャル安定度試験を用いた配合設計基準を作成した。本検討の結果、表面のきめ深さと内部の密実さは、限られた粒度とアスファルト量のもとで作製可能であることが判明した。

Key Word : porous asphalt, stone mastic asphalt, composite pavement, texture

1. はじめに

日本道路公団（以下「JH」という。）では、より安全で快適な路面の提供を目的に、平成10年1月から高機能舗装（排水性舗装）を表層工の標準工種として全面採用しており、トンネル内にも適用している。トンネル内の舗装構造は、連続鉄筋コンクリート版をベースに、中間層に碎石マチックアスファルト舗装（以下「SMA」という。）4cm、その上に表層として高機能舗装を4cm設けるコンポジット舗装構造である。（図-1の左図）

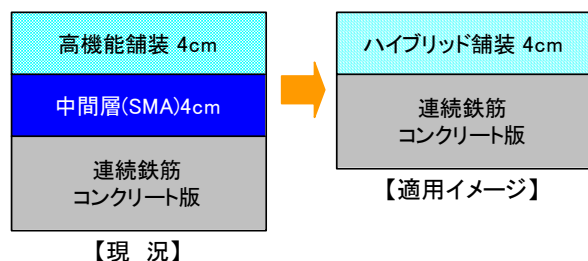


図-1 トンネル内コンポジット舗装への適用イメージ

JH でトンネル内に高機能舗装を採用している理由としては、①明かり部とトンネル内で路面のきめ深さ（テクスチャ）の連続性を保つ、②黒路面によ

る白線の視認性向上などの理由によるものである。しかし、トンネル内は降雨がなく、タイヤによる引き込み水で路面が濡れる程度であることから、明かり部程の高い排水機能を持たせる必要はなく、高機能舗装同等のきめ深さで十分である。次に中間層（SMA）を採用している理由は、連続鉄筋コンクリート版に生じる微細クラックへの高機能舗装からの引き込み水の流水防止および高機能舗装へのリフレクティブクラックを防止するためである。なお、トンネル内の連続鉄筋コンクリート版厚は、明かり部程の温度応力を受けないことから、表層・中間層の厚さに影響されないものである。

したがって、表面は高機能舗装と同等のきめ深さを有し、内部は SMA 同等の密実な舗装、いわゆる高機能舗装と SMA を組み合わせた舗装（以下「ハイブリッド舗装」という。写真-1 参照）を開発すれば、表層と中間層の2層（8cm）が1層（4cm）でよくなり約5割の建設費削減になる（図-1）。なお、既に、排水性舗装の決め深さを有する機能性 SMA¹⁾ が開発されているが、以下の4項目の理由から、防水性能と共にコスト縮減を目指したハイブリッド舗装に関する研究を行ったものである。①機能性 SMA の粒度範囲が広く、例えば 4.75mm 通過質量百分率が 28～45%であり、このような広範囲の粒度で高機能舗装同等のきめ深さは適確に得られないと

考えられること。②機能性 SMA の空隙率の範囲が 3～7%と広く、防水性は得られないと考えられること。③機能性 SMA は植物性繊維を 0.3～0.5%添加する必要があるが、コスト削減を図るには混合物価格の約 2 割をも占める植物性繊維を用いたくないこと。④機能性 SMA は、目標としたきめ深さを常を得るための施工技術のノウハウが必要であるが、高機能舗装同様の一般的施工技術があれば目標としたきめ深さと密実さが得られること。

本文は、コスト削減を目指したハイブリッド舗装に関する研究のうち、ハイブリッド舗装混合物の配合設計に関する検討結果を述べるものである。

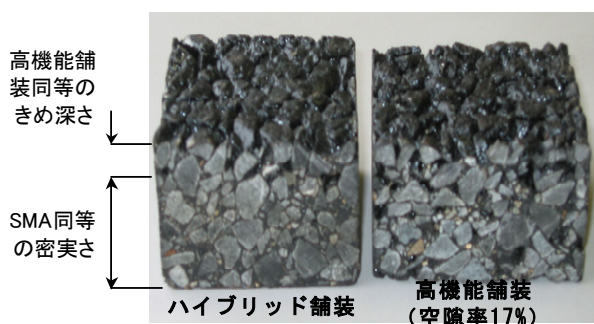


写真-1 ハイブリッド舗装と高機能舗装のホイールトラッキング試験供試体の切断サンプル

2. 開発コンセプト

ハイブリッド舗装混合物は、高機能舗装と SMA の機能を併せ持つアスファルト混合物であり、期待される性能としては、①高機能舗装同等のきめ深さ、②高機能舗装同等のすべり抵抗性、③高機能舗装以上の骨材飛散抵抗性、④高機能舗装同等の耐流動性、⑤SMA 同等の耐摩耗性、⑥SMA 同等の耐防水性、⑦SMA 同等のたわみ（ひび割れ）追従性である。

3. きめ深さと防水性に関する概略検討

アスファルト混合物の配合設計は、通常、使用する骨材の密度（比重）が近似していることから便宜上、容積配合比率＝質量配合比率として実施している。また、マーシャル安定度試験の結果から骨材間隙率（以下「VMA」という。）や空隙率を理論最大密度を用いて求めている。しかし、吸水率が高い骨材では、見掛け比重や表乾かさ比重などのように測定方法の違いで比重の値が異なる。理論最大密度の計算に用いる骨材比重が異なれば骨材間隙率や空隙率が異なり、つまり容積が変化したことになる。また、室内と現場で締固めエネルギーが異なることから容積が変化するのできめ深さも変化する。ハイブリッド舗装混合物のように 2 つの機能層を有する

混合物を質量比配合で行うには特段の注意を要する。そこで、粒度の選定とアスファルト量の選定に当たっては 2 つの機能層を兼ね備えることに重きを置いた。次に暫定配合にて現場の転圧条件に近いローラーコンパクタでホイールトラッキング試験の供試体を作製し、前項の期待される 7 つの性能のうち、きめ深さと防水性は、きめ深さが大きすぎると防水性に欠け、防水性に富むときめ深さが小さくなるという相反する性能であることから、きめ深さと防水性に関する概略検討を行った。

（1）暫定 3 粒度の選定

ハイブリッド舗装は、高機能舗装のように粗骨材の 6 号砕石でアスファルト混合物の主骨格を形成させ、その空隙の中下層部にアスファルトモルタルが充填することをイメージした。暫定 3 粒度の選定にあたっては、粗骨材の 6 号砕石の割合をコントロールするふるい目が 4.75 mm であることから、上限粒度の 4.75 mm 通過量を積雪寒冷地用高機能舗装（目標空

表-1 配合割合

材料種	配合割合 (%)		
	上限粒度	中央粒度	下限粒度
6 号 砕 石	70	74	80
粗 目 砂	12	10.5	8.5
スクリーニングス	6	6	5
石 粉	12	9.5	6.5

表-2 合成粒度

ふるい目	上限粒度	中央粒度	下限粒度
19.0 (mm)	100	100	100
13.2	97.5	97.3	97.1
4.75	32.3 (32.3)	28.5 (27.2)	22.8 (22.0)
2.36	26.0 (26.0)	22.4 (21.5)	17.1 (17.0)
600 (μm)	18.1	15.1	11.2
300	15.6	12.8	9.2
150	13.5	11.1	7.8
75	10.6 (11.0)	8.6 (8.5)	6.8 (6.0)

()内は、目標粒度

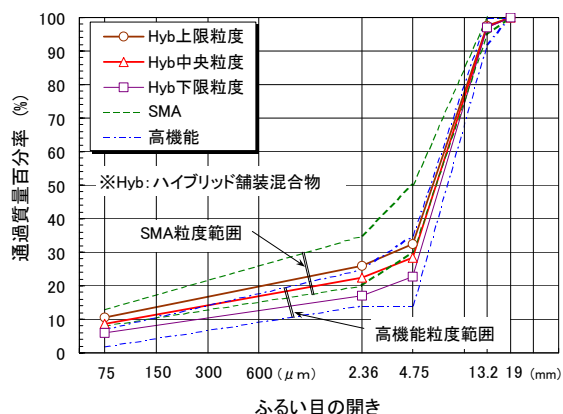


図-2 粒度分布曲線

隙率 17%) の中央粒度 (24.5) と SMA の中央粒度 (40.0) の平均 (32.3) を採用した。また、4.75 mm の下限粒度は高機能舗装と SMA の下限粒度の平均 $\{(14.0+30.0)/2=22.0\}$ を採用するといったように高機能舗装と SMA の粒度範囲を参考に配合割合を選定した。常温骨材配合割合を表-1 に、合成粒度を表-2 に、粒度分布曲線を図-2 に示す。

(2) 暫定マーシャル基準値の選定

暫定アスファルト量を選定するために、暫定マーシャル基準値を設定する必要があるため、表-3 に示す JH の表層用混合物のマーシャル基準値を参考に表-4 のとおり暫定マーシャル基準値を設定することとした。ハイブリッド舗装混合物は 6 号砕石で主骨格を形成させ、骨材間隙にアスファルトモルタルを充填させる必要があることから、十分に締固めることを想定して、マーシャル安定度試験の供試体突固め回数は両面 75 回を採用した。安定度、フロー値、飽和度は密粒度アスファルト混合物に準ずることとし、きめ深さが重要であることから容積に関する VMA と混合物の弾性を意識して、安定度/フロー値 (以下「S/F」という。) の基準値を追加した。VMA に関しては、JH の SMA 配合設計マニュアルでは 17%以上が望ましいとしており、アスファルト舗装要綱 (昭和 53 年 6 月改訂版)³⁾ では、特にわだち掘れ防止やすりへり防止を重視する場合で中央値以外で設計アスファルト量を求める場合、16%以上が望ましいと記していることから、この段階でどちらが適しているか判断できないため、両方の基準値を参考にすることとした。S/F は一般にたわみ性に富

表-3 表層用混合物 (JH) のマーシャル基準値²⁾

項 目	表 層	
	密 粒 度	ギャップ
安 定 度 (kN)	6以上	6以上
フ ロー 値 (1/100cm)	20~40	20~40
S/F (kN/m)		
空 隙 率 (%)	3~5	3~7
骨材間隙率 (VMA) (%)		
飽 和 度 (%)	70~85	65~85
水浸マーシャル残留安定度 [60°C, 48時間] (%)	75以上	

表-4 ハイブリッド舗装の暫定マーシャル基準値

項 目	突固め回数両面75回
安 定 度 (kN)	6以上
フ ロー 値 (1/100cm)	20~40
S/F (kN/m)	2,000~4,900
空 隙 率 (%)	
骨材間隙率(VMA) (%)	17以上 (JH-SMA) 16以上 (要綱-AS混合物)
飽 和 度 (%)	70~85

み、流動などの変形に強い範囲は 2,000~4,900kN/m⁴⁾ が望ましいとされていることからこの値を採用した。なお、空隙率については表面のきめ深さを得るために重要な部分であると考え、ここでは未定であるため設定しないこととした。

(3) 暫定最適アスファルト量の選定

表-4 の暫定マーシャル基準値の安定度、フロー値、S/F および飽和度の共通アスファルト量範囲の中央値のアスファルト量 (以下「AS 量」という。) と VMA (16%または 17%) から求めた AS 量の平均のうち多い方の AS 量を最適アスファルト量 (以下「OAC」という。) とし、OAC+0.3%の 2 つの AS 量を混合物作製時の暫定 OAC とした。暫定 OAC 2 点を表-5 に示す。ただし、下限粒度に関しては、AS 量が 5.0~5.5%程度となり、高機能舗装用混合物と大差ないこと、AS 量 5.7%であっても全体的に空隙が点在していたこと等を踏まえて下限粒度に関しては、暫定 OAC を一律 6.0, 6.5%とした。なお、表-5 の繊維は植物性繊維を外割りで添加したものである。

表-5 暫定 OAC

粒 度	バインダ	繊 維	暫定 OAC
上 限	改質 II 型	—	5.9, 6.2%
		0.2%	5.9, 6.2%
	高粘度	—	5.6, 6.2%
		0.2%	5.8, 6.1%
中 央	改質 II 型	—	6.0, 6.3%
		0.2%	6.0, 6.3%
	高粘度	—	5.8, 6.1%
		0.2%	5.9, 6.2%
下 限	改質 II 型	—	6.0, 6.5%
		0.2%	6.0, 6.5%
	高粘度	—	6.0, 6.5%
		0.2%	6.0, 6.5%

(4) 加圧透水試験結果

表-5 の暫定 OAC の混合物でホイールトラッキング試験の供試体を作製し、コアカッターでコア採取して加圧透水試験した。結果を図-3 に示す。透水係数は、透水圧 150kPa で 24 時間加圧透水させた後の 10 分間の透水量から求めた。下限粒度は、何れの AS 量でも不透水の見込みである 1×10^{-7} を大きく上回り防水効果が見られなかった。また、写真-2 に示すとおり、ホイールトラッキング試験の供試体の切断面を見ると下限粒度には全体にわたって、空隙が点在していた。なお、繊維添加の防水効果が見られなかった点について、本混合物に繊維を添加しても OAC の増加に寄与していないためであると考えられ、防水効果の寄与に関して繊維は不要と判断した。

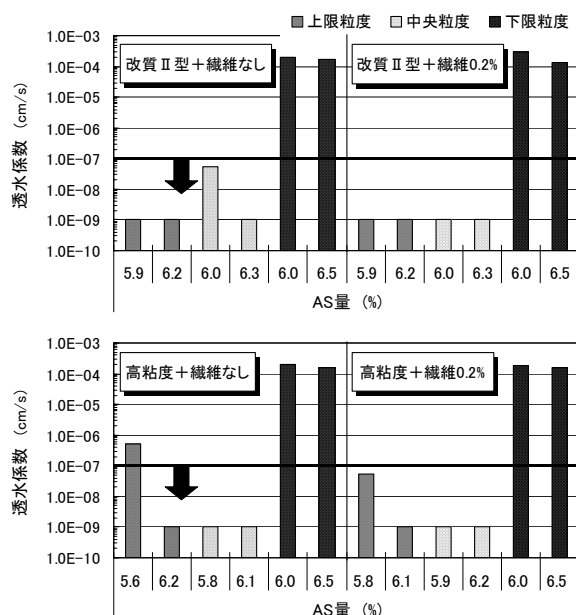


図-3 加圧透水試験結果

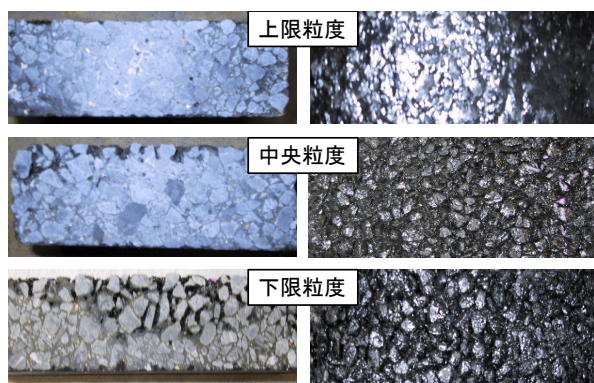


写真-2 3粒度（改質II型，OAC）の切断面と表面

（5）きめ深さの測定結果

表-5の暫定OACの混合物をローラーコンパクタで締固め50×50×5 cmの供試体を作製し，CTメータによる平均プロファイル深さ（以下「MPD」とい

う。）を測定した．測定結果を図-4に示す．なお，ハイブリッド舗装混合物は高機能舗装と同様に鉄輪ローラ主体で転圧するべきであるので，きめ深さについては，ローラーコンパクタによる供試体で相对比较することとした．

上限粒度は写真-2に見られるようにきめ深さが浅く，MPDが最も小さい結果となり，きめ深さの観点から，粒度が絞られてくると考えられる．高機能舗装に用いる粗骨材は6号砕石のみであり，7号砕石は用いないことから，高機能舗装と同等のきめ深さを確保するには，6号砕石と7号砕石を区分する4.75 mmの通過量が影響するものと考えられる．

（6）4.75mm 通過量の検討

図-5に4.75 mm通過量とMPDの関係を示す．4.75 mm通過量の増加にともない，MPDは小さくなる傾向となる．CTメータによるMPDは，密粒度アスファルト混合物が0.5程度であるのに対して，高機能舗装（空隙率17%）は1.9程度である．ハイブリッド舗装混合物の目視によりきめ深さがあると判断された中央粒度ときめ深さが浅いと判断された上限粒度のMPDの境界は図-4から求めると1.2であり，図-5よりMPD1.2が得られる4.75 mm通過量は30%以下となる．なお，4.75 mm通過量の範囲は，SMAが30～50%，高機能舗装（空隙率17%）では14～35%である．したがって，両混合物の重複する4.75 mm通過量の範囲は30～35%であり，この範囲にハイブリッド舗装混合物が位置すると推測されるが，上限粒度のように，4.75 mm通過量が32%以上では，高機能舗装と同程度のきめ深さが得られないこと，下限粒度のように高機能舗装の粒度範囲の領域に近づけば，粒度が粗すぎて防水性が得られないこと等を考慮すると，きめ深さが得られ，且つ，SMAの特徴を兼ね備える4.75 mm通過量は30%程度が最良と考えられ，ハイブリッド舗装混合物は，非常に粒度が限定されるものと考えられる．

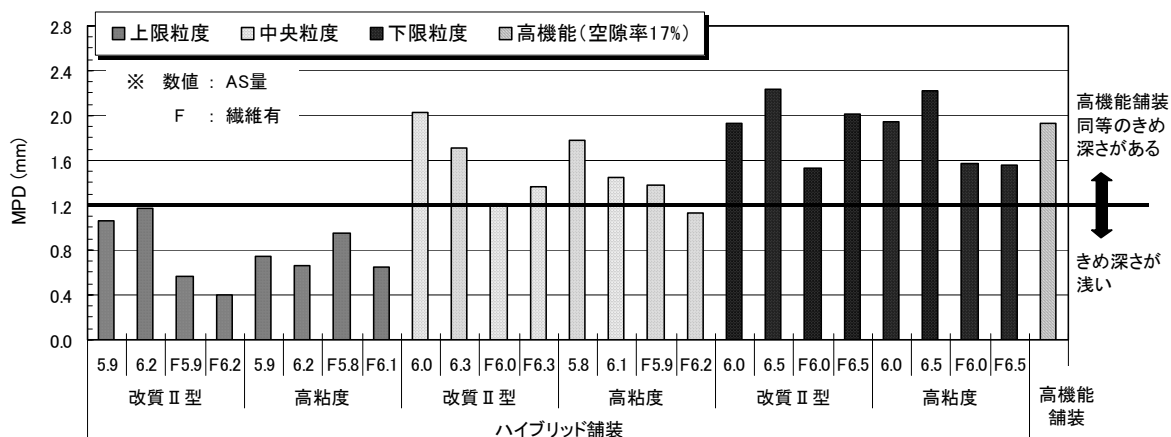
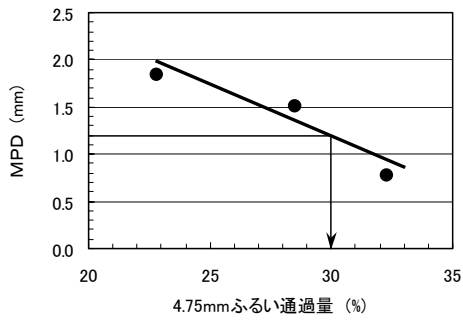


図-4 CTメータによるMPD



図－5 4.75mm 通過量と MPD

(7) 0.075 mm通過量とOACの検討

前項の結果から、4.75 mm通過量の目標を 30%に設定して、0.075 mm通過量を変化させた粒度について検討を行った。選定した粒度の配合割合を表－6 に、合成粒度を表－7 に示す。

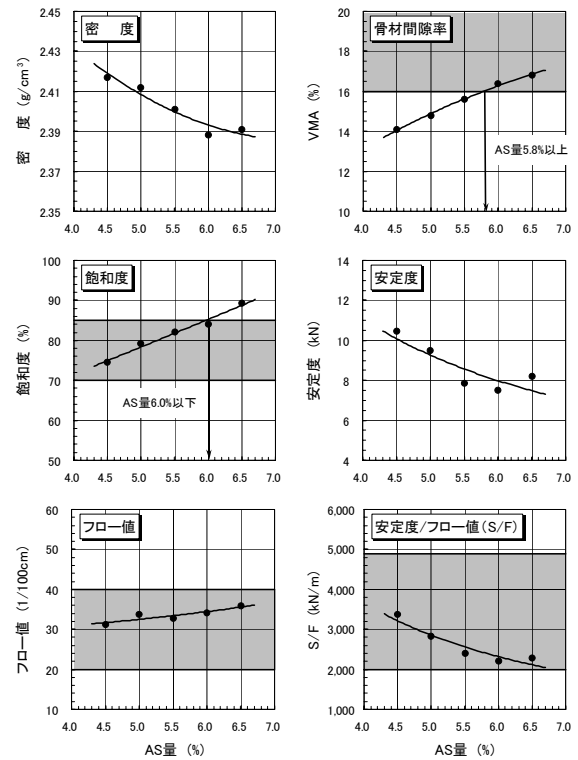
表－6 配合割合

材料種	粒度	配合割合 (%)			
		①	②	③	④
6号 碎石		70.5	72.5	72.5	72.5
7号 碎石		5	—	—	—
粗 目 砂		—	11	10.5	8
細 目 砂		8.5	—	—	—
スクリーニングス		5	8	6	5.5
石 粉		11	8.5	11	14

表－7 合成粒度

ふるい目	①	②	③	④
19.0 (mm)	100	100	100	100
13.2	97.5	97.4	97.4	97.4
4.75	31.9	29.9	29.9	30.0
2.36	24.6	23.5	23.9	24.6
600 (μm)	20.1	15.1	16.6	18.7
300	17.2	12.4	14.3	16.7
150	12.7	10.4	12.6	15.2
75	9.7	8.0	9.8	12.0

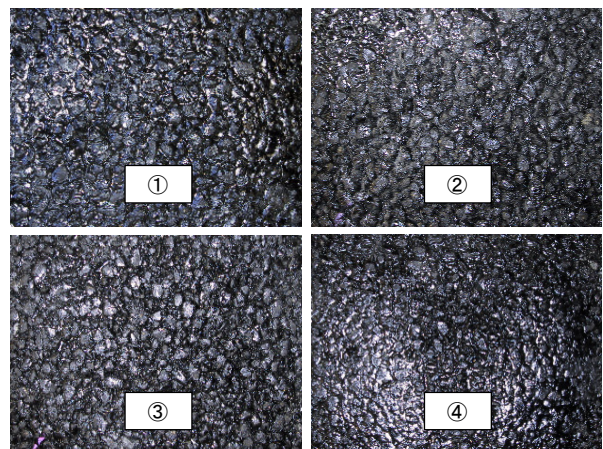
各粒度に対する OAC は、前項までに基準とした特性値のうち、安定度は暫定マーシャル基準値を大きく上回り、フロー値は基準値内で安定した傾向を示し、OAC に影響を及ぼさないことから OAC に関係すると考えられる特性値は、VMA と飽和度および S/F とした。各粒度の OAC 決定方法の例として、バインダに改質Ⅱ型を用いた粒度①の OAC 決定方法を図－6 に示す。この図から VMA17%では AS 量が 6.5%と多くなりすぎるので VMA16%を採用し、AS 量は 5.8%以上、飽和度 70～85%を満足する AS 量は 6.0%以下となり、VMA と飽和度の関係から求めた AS 量範囲 5.8～6.0%の中央値 $\{(5.8+6.0)/2=5.9\}$ を OAC とした。また、このときの AS 量で S/F が



図－6 AS 量とマーシャル特性値
(粒度①改質Ⅱ型)

表－8 各粒度の OAC

バインダ	粒度	VMA 16以上 (%)	飽和度 70～85 (%)	S/F 2,000～4,900 (kN/m)	AS範囲 (%)	中央値 OAC (%)
改質Ⅱ型	①	5.7以上	6.0以下	6.5以下	5.7～6.0	5.9
	②	5.5以上	6.0以下	6.2以下	5.5～6.0	5.8
	③	5.8以上	5.8以下	6.5以下	5.8～5.8	5.8
	④	5.9以上	5.8以下	6.0以下	5.8～5.9	5.9
高粘度	①	5.5以上	6.0以下	6.1以下	5.5～6.0	5.8
	②	5.2以上	6.5以下	6.0以下	5.2～6.0	5.6
	③	5.5以上	6.5以下	6.5以下	5.5～6.5	6.0
	④	5.7以上	5.9以下	6.5以下	5.7～5.9	5.8



写真－3 各粒度の表面性状

2,000～4,900kN/m の間に入っていることを確認した。

表－9 ホイールトラッキング試験結果

バインダ	混合物粒度	AS量 (%)	実測空隙率 (見掛)%	締固め度 (%)	ホイールトラッキング試験結果		F/A	VMA (%)	飽和度 (%)
					d0 (mm)	DS(回/mm)			
改質Ⅱ型	①	5.9	1.9	100.6	1.84	7,875	1.64	16.1	84.5
		6.2	1.6	100.6	2.57	3,938	1.56	16.5	86.7
	②	5.8	1.9	100.5	2.06	7,438	1.38	15.6	85.9
		6.1	1.8	100.4	1.94	4,523	1.31	16.2	87.0
	③	5.8	1.8	100.8	1.99	9,000	1.69	15.9	84.3
		6.1	1.7	100.6	1.54	8,000	1.61	16.4	86.0
	④	5.9	1.9	100.5	1.91	7,088	2.03	16.0	85.6
		6.2	1.8	100.5	1.63	7,438	1.94	16.4	86.1
高粘度	①	5.5	2.5	100.3	1.87	10,800	1.76	16.2	83.3
		5.8	2.2	100.6	2.10	7,088	1.67	16.5	85.5
	②	5.6	2.8	100.8	2.14	11,550	1.43	16.4	78.7
		5.9	2.5	100.6	2.19	10,500	1.36	16.6	81.9
	③	6.0	2.7	100.8	1.97	10,238	1.63	16.8	82.1
		6.3	2.3	100.8	1.71	7,875	1.56	17.2	84.3
	④	5.8	2.2	101.0	1.71	12,600	2.07	16.4	81.7
		6.1	2.0	100.8	1.97	9,750	1.97	16.8	83.9

本手法で全粒度に対する OAC を推定した結果が表－8 である。これらの OAC が適切であるか、あらかじめ確認するために OAC でホイールトラッキング試験供試体を作製し、きめ深さの目視観察を行った。バインダに改質Ⅱ型を用いた各粒度の混合物の表面性状を写真－3 に示す。いずれも高機能舗装と近似したきめを有しており、表－8 で示した OAC は適切であると考えられるが、4つの粒度の中では④粒度のみアスファルトモルタルの光沢が目立ち、0.075 mm通過量は 12%では多すぎ、8～10%が最良と考えられる。

4. 配合設計基準値の検討

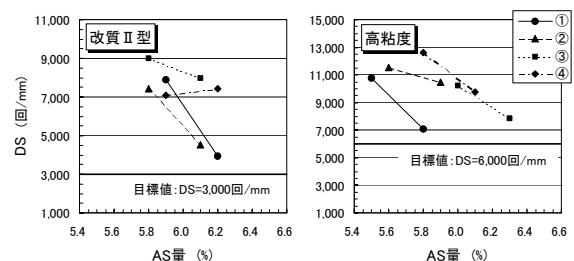
以上に実施した試験結果から、ハイブリッド舗装混合物の配合設計に必要な目標粒度範囲と OAC 決定のための各種試験の基準値を検討するため、表－8 で決定した OAC および OAC+0.3%で各種試験用供試体を作製した。なお、OAC-0.3%については、加圧透水試験のみを行って防水性を評価した。

(1) 耐流動性

耐流動性の評価のため標準ホイールトラッキング試験を行った。表－9 にホイールトラッキング試験結果を示す。

a) AS 量と耐流動性の関係

図－7 に各粒度に対する AS 量と動的安定度（以下「DS」という。）の関係を示す。AS 量が多くなると DS は低下する。ただし、OAC+0.3%でも目標値（改質Ⅱ型は 3,000 回/mm⁵⁾、高粘度はホイールトラッキング試験の評価限界から 6,000 回/mm）は満足することから、OAC は耐流動性の観点から適切であると考



図－7 AS 量と DS の関係

えられる。

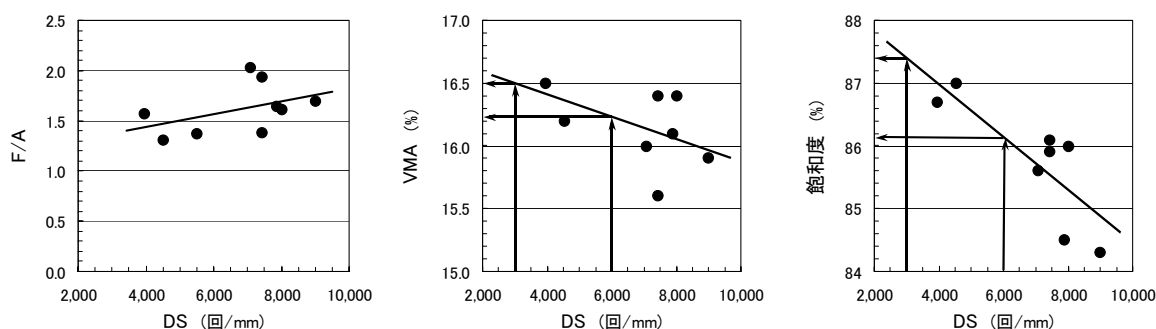
b) F/A, VMA および飽和度と DS の関係

図－8 に粒度①～④の 0.075 mm通過量／アスファルト量（以下「F/A」という。）、VMA および飽和度と DS の関係を示す。ただし、高粘度バインダを使用した混合物の DS は総じて高い値を示し、傾向が明白でないため改質Ⅱ型混合物のデータで評価した。

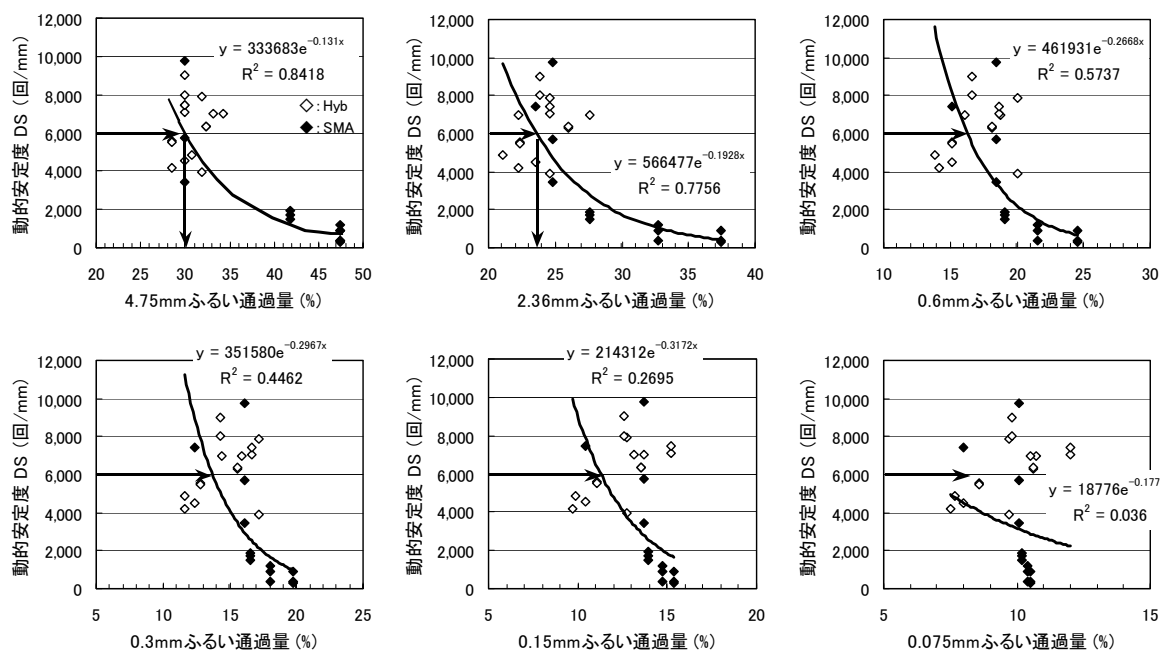
F/A が増加すると DS も増加する傾向であるが、総じて DS が高く、F/A は問題とはならないと考えられる。VMA については、16.5%程度以下であれば DS3,000 回/mm以上であり耐流動性は問題ないと考えられる。飽和度については、87.5%程度以下であれば耐流動性は問題ないと考えられる。

c) 各ふるい通過量と DS の関係

ハイブリッド舗装混合物の耐流動性に影響をおよぼす骨材粒度を確認するため、SMA とハイブリッド舗装混合物のデータを使用して、各ふるい通過量と DS の関係を求めた。なお、ハイブリッド舗装混合物は粒度が細かい方に移行すれば SMA 混合物になることから SMA のデータも組み入れた。バインダは全て改質Ⅱ型を使用したものであり、図－9 にその結果を示す。



図－８ F/A, VMA および飽和度と DS の関係



図－９ 各ふるい通過量と DS の関係

ハイブリッド舗装混合物の耐流動性は非常に高く、ホイールトラッキング試験の評価限界である DS6,000 と設定し各ふるい通過量を求めると、4.75 mm通過量は 30%で 2.36 mm通過量は 24%程度以下に設定することが重要と考えられる。

また、0.6 mm通過量以下を見た場合、ハイブリッド舗装混合物は各ふるい通過量が多くなれば DS が顕著に低下するといった傾向は見られない。したがって、ハイブリッド舗装混合物の耐流動性は主骨格を形成する粗骨材量でほぼ決まり、4.75 mm通過量が 30%程度で配合を決めた場合、それ以下の通過量は耐流動性にさほど影響されなく、反対にきめ深さが

得られる範囲内で細骨材量を多くすることで、防水性の向上、アスファルトのダレ抑制に効果が期待できるものと考えられる。耐流動性の観点からの配合特性値を表－10 に示す。

（２）骨材飛散抵抗性

骨材飛散抵抗性はカンタブロ損失率で評価した。標準カンタブロ試験は供試体温度 20℃で、低温カンタブロ試験は供試体温度－20℃で行った。試験結果を表－11 に示す。いずれの供試体とも表面、側面の粗面部分の骨材が飛散している状態はみられなかった。なお、低温カンタブロ損失率の最も大きいものでも 12.1%であり、今回選定した粒度および設定した OAC ならびに OAC+0.3%であれば、骨材飛散抵抗性については問題がないと考えられる。

（３）たわみ追従性

たわみ追従性は、曲げ試験方法⁶⁾（試験温度－10℃、荷速度 50 mm/min）の曲げ強度とひずみで評価した。試験結果を表－12 に示す。曲げ強度は改質Ⅱ型を使

表－10 DS を考慮した場合の配合特性値

項 目	特 性 値
4.75mm通過量	30%
2.36mm通過量	25%程度以下
F/A	問題なし
VMA	16.5%程度以下
飽和度	87.5%程度以下

表-11 カンタブロ試験結果

バインダ	混合物粒度	AS量 (%)	実測空隙率 (見掛け)%	カンタブロ損失率 (%)	
				標準	低温
改質Ⅱ型	①	5.9	2.9	4.3	9.7
		6.2	2.3	3.9	7.4
	②	5.8	2.4	4.9	12.1
		6.1	2.4	5.5	9.4
	③	5.8	2.6	5.2	7.9
		6.1	2.4	5.3	8.6
	④	5.9	2.4	4.1	7.0
		6.2	2.3	2.6	7.5
高粘度	①	5.5	2.8	1.7	4.7
		5.8	2.4	1.9	5.2
	②	5.6	3.6	3.5	5.7
		5.9	3.1	3.7	4.8
	③	6.0	3.0	2.9	5.8
		6.3	2.6	1.8	5.9
	④	5.8	3.1	2.6	5.7
		6.1	2.7	2.1	4.0

表-12 単純曲げ試験結果

バインダ	混合物粒度	AS量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	ひずみ (cm/cm)
改質Ⅱ型	①	5.9	10.6	8.90E-03
		6.2	10.1	7.80E-03
	②	5.8	9.3	7.60E-03
		6.1	9.3	8.04E-03
	③	5.8	9.0	8.00E-03
		6.1	9.4	9.00E-03
	④	5.9	10.5	9.00E-03
		6.2	10.3	7.50E-03
高粘度	①	5.5	13.6	1.22E-02
		5.8	14.1	1.21E-02
	②	5.6	12.8	1.11E-02
		5.9	14.2	1.19E-02
	③	6.0	13.8	1.06E-02
		6.3	14.1	1.07E-02
	④	5.8	13.4	1.22E-02
		6.1	12.8	1.22E-02

用した場合は粒度に係わらず、8～10.5N/mm²の範囲であり、高粘度バインダを使用した場合はおよそ12～14N/mm²の範囲である。破断ひずみはSMAの基準である 6.0×10^{-3} をいずれも大幅に満足する結果となった。したがって、①～④の粒度であればたわみ追従性に優れた混合物であり、また今回選定したOACとOAC+0.3%であれば問題ないと考えられる。

(4) 防水性

防水性は加圧透水試験による透水係数で評価した。なお、供試体はホイールトラッキング試験の供試体からコアカットで採取したものであり、透水係数は透水圧150kPaで24時間加圧透水させた後、10分間の透水量で透水係数を算出した。図-10にその結果を示す。

a) AS量および空隙率と透水係数の関係

図-11にAS量と透水係数の関係、図-12に空隙率（見掛け密度から算出）とAS量（見掛け密度から算出）とAS量（見掛け密度から算出）の関係を示す。図-11からAS量が5.8%程度以上であれば透水係数

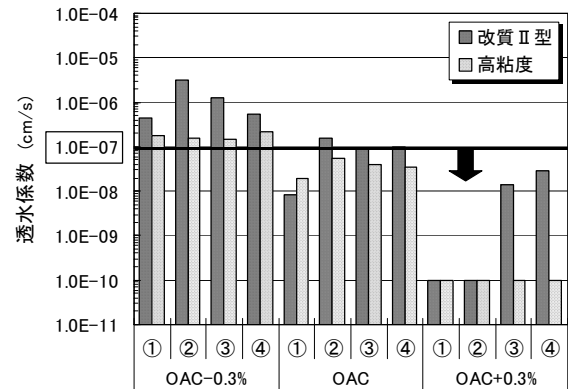


図-10 各粒度のAS量と透水係数の関係

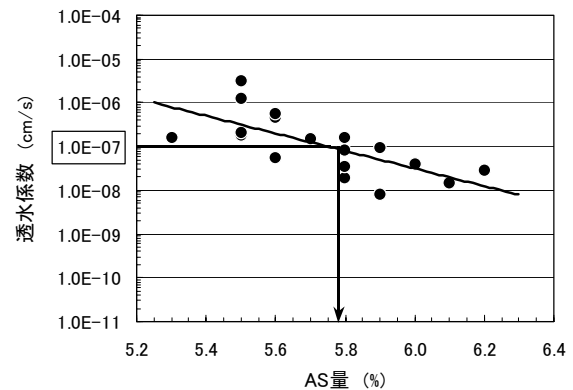


図-11 AS量と透水係数の関係

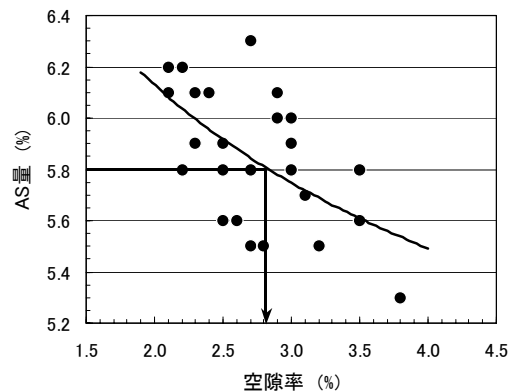


図-12 空隙率とAS量の関係

1×10^{-7} (SMA 基準) を満足でき、図-10にみられるように、OAC-0.3%は透水係数 1×10^{-7} を満足できず防水性に問題があることが分かった。AS量5.8%の時の空隙率は図-12からおよそ2.8%であり、このことからハイブリッド舗装混合物を不透水層にするには、空隙率を2.8%以下にする必要がある。

b) F/A, VMAおよび飽和度と透水係数の関係

図-13にF/A, VMAおよび飽和度と透水係数の関係を示す。F/Aが増加すると透水係数は減少（不透水になる）傾向を示し、不透水とみなされる透水

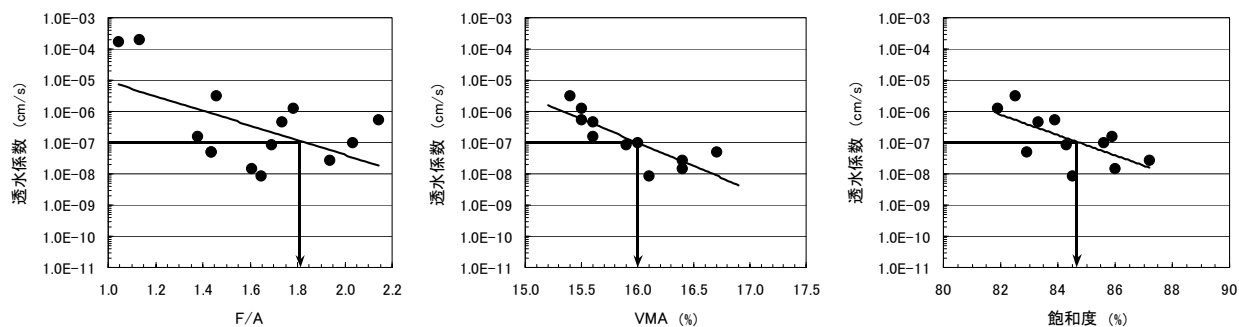


図-13 F/A, VMA および飽和度と透水係数の関係

表-13 防水性を考慮した場合の配合特性値

項目	特性値
AS量	5.8%以上
0.6mm通過量	20%
F/A	1.8程度以上
VMA	16%程度以上
飽和度	85%程度以上
空隙率	2.8%以下

係数 1×10^{-7} 以下となる F/A は 1.8 程度以上である。また、透水係数 1×10^{-7} となる VMA は 16% 程度以上であり、同じく飽和度は 85% 程度以上である。

防水性の観点から混合物粒度では①が優れ、0.6 mm 以下の通過量を 20% と多くすることが有効である。なお、防水性を考慮した配合特性値を表-13 に示す。

(5) 耐摩耗性

耐摩耗性はラベリング試験（試験温度 -10°C 、クロスチェーン使用）の摩耗量にて評価した。試験結果を図-14 に示す。いずれの粒度も AS 量、アスファルト種類に関らず、摩耗量はクロスチェーンを使用した場合、JH 積雪寒冷地用表層工の基準値⁷⁾ 1.1 cm^2 以下を十分満足している。

粒度による摩耗量の傾向は、②>③>①≒④となった。この 4 粒度の違いは、0.6 mm 通過量以下で差がでている粒度であることから、0.6 mm 通過量が少ない（粗い粒度）粒度の順に並べると②が最も少なく、

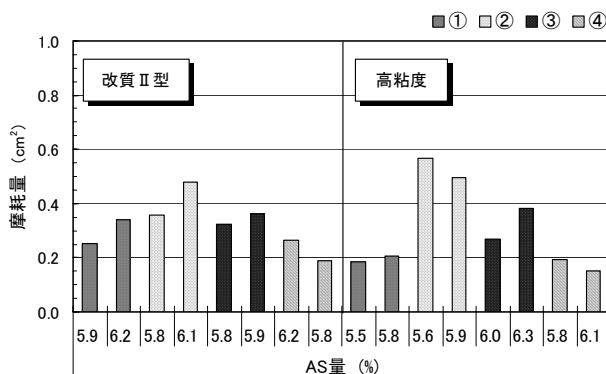


図-14 ラベリング試験結果

②>③>④>①となり、摩耗量の多い順と一致する。これは、0.6 mm 通過量を多くすることでアスファルトモルタルによる粗骨材被膜が形成されやすくなることが考えられる。したがって、防水性の観点と同様に、耐摩耗性を考慮するならば、0.6 mm 以下の通過量を 18~20% にすることが有効と考えられる。

(6) すべり抵抗性ときめ深さ

DF テスタにてすべり抵抗値（以下「RSN」という。）を、CT メータできめ深さを測定した。すべり抵抗値は DF テスタで得られる RSN で、きめ深さは CT メータで得られる MPD で評価した。供試体の大きさは、DF テスタおよび CT メータが設置できる大きさを考慮して $50 \times 50 \times 5 \text{ cm}$ とした。

表-14 にすべり抵抗値測定結果を、表-15 に路面粗さ測定結果を示す。また、RSN (80 km/h) と MPD の平均値および標準偏差を表-16 に示し、図-15 に MPD と RSN の関係を示す。

ハイブリッド舗装混合物の場合、MPD が大きくなると、すべり抵抗値は大きくなる。表-16 に示されるようにすべり抵抗値の標準偏差は 0.03 であり、各粒度および OAC において顕著な差はなかった。

表-14 すべり抵抗値(RSN)測定結果

バインダ	混合物粒度	AS量 (%)	RSN			
			40km/h	60km/h	80km/h	
改質Ⅱ型	①	5.9	0.42	0.34	0.33	
		6.2	0.33	0.30	0.30	
	②	5.8	0.40	0.36	0.35	
		6.1	0.45	0.39	0.40	
	③	5.8	0.42	0.35	0.35	
		6.1	0.40	0.32	0.33	
	④	5.9	0.39	0.34	0.33	
		6.2	0.35	0.32	0.31	
高粘度	①	5.5	0.35	0.33	0.32	
		5.8	0.38	0.32	0.30	
	②	5.6	0.41	0.34	0.36	
		5.9	0.36	0.33	0.33	
	③	6.0	0.44	0.40	0.40	
		6.3	0.42	0.35	0.37	
	④	5.8	0.37	0.32	0.34	
		6.1	0.36	0.31	0.30	
	高機能 (空隙率17%)		5.1	0.58	0.53	0.46

表-15 プロファイル深さ(MPD)測定結果

バインダ	混合物粒度	AS量 (%)	プロファイル深さ MPD (mm)			
			1	2	3	平均
改質II型	①	5.9	1.187	1.298	1.181	1.222
		6.2	1.172	1.187	1.220	1.193
	②	5.8	1.542	1.582	1.801	1.642
		6.1	1.751	1.957	1.541	1.750
	③	5.8	1.574	1.579	1.509	1.554
		6.1	1.836	1.667	1.679	1.727
	④	5.9	1.250	1.262	1.137	1.216
		6.2	0.987	1.123	1.050	1.053
高粘度	①	5.5	1.631	1.485	1.877	1.664
		5.8	1.631	1.558	1.756	1.648
	②	5.6	1.599	1.599	1.709	1.636
		5.9	1.835	1.855	1.800	1.830
	③	6.0	1.529	1.849	1.794	1.724
		6.3	1.819	1.822	1.713	1.785
	④	5.8	1.595	1.740	1.670	1.668
		6.1	1.812	1.436	1.548	1.599
	高機能 (空隙率17%)	5.1	1.883	2.022	2.090	1.998

MPD の目標値としては、表-16 に示すとおり、MPD の ($m-2\sigma$) の値が 1.2 (1.129) 程度であること、3.(6) の結果とも符合することから、MPD1.2 がハイブリッド舗装混合物に要求される最少 MPD とした。

a) 各ふるい通過量とMPDの関係

各ふるい通過量と MPD の関係を図-16 に示す。傾向として、各ふるい目とも通過量が多くなると MPD は小さくなり、比較的相関が高いのは 0.6 mm、0.3 mm 通過量である。最小 MPD を 1.2 とした場合、2.36 mm 通過量は 25% 程度以下、0.6 mm 通過量は 20% 程度以下とするのが良いと考えられる。一方、粒度

表-16 RSN (80km/h) と MPD の

平均値および標準偏差

項目	平均値 (m)	標準偏差 (σ)	$m-\sigma$	$m-2\sigma$
RSN (80km/h)	0.34	0.03	0.31	0.28
MPD (mm)	1.595	0.233	1.362	1.129

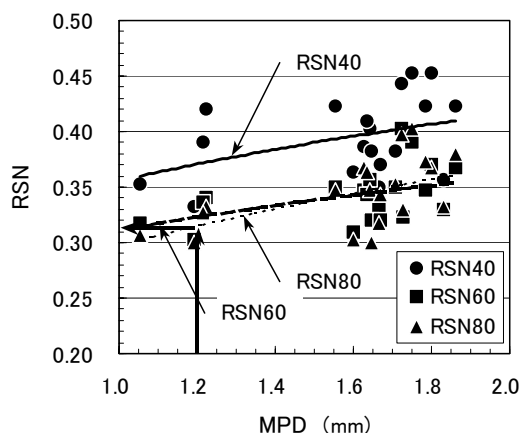


図-15 MPD と RSN の関係

④ (0.075 mm 通過量 12%) のように石粉量が多い配合は F/A が大きくなり、アスファルトモルタルの流動性が低下し、このことがきめ深さに影響すると考えられる。したがって、0.075 mm 通過量は、SMA と同等の 8~11% 程度が最適と考えられる。

b) MPD と F/A, VMA および飽和度の関係

図-17 に MPD と F/A, VMA および飽和度の関係を示す。

MPD1.2 以上を確保するならば、F/A=1.8 程度以下、VMA=16.2% 程度以上、飽和度=85% 程度以下と

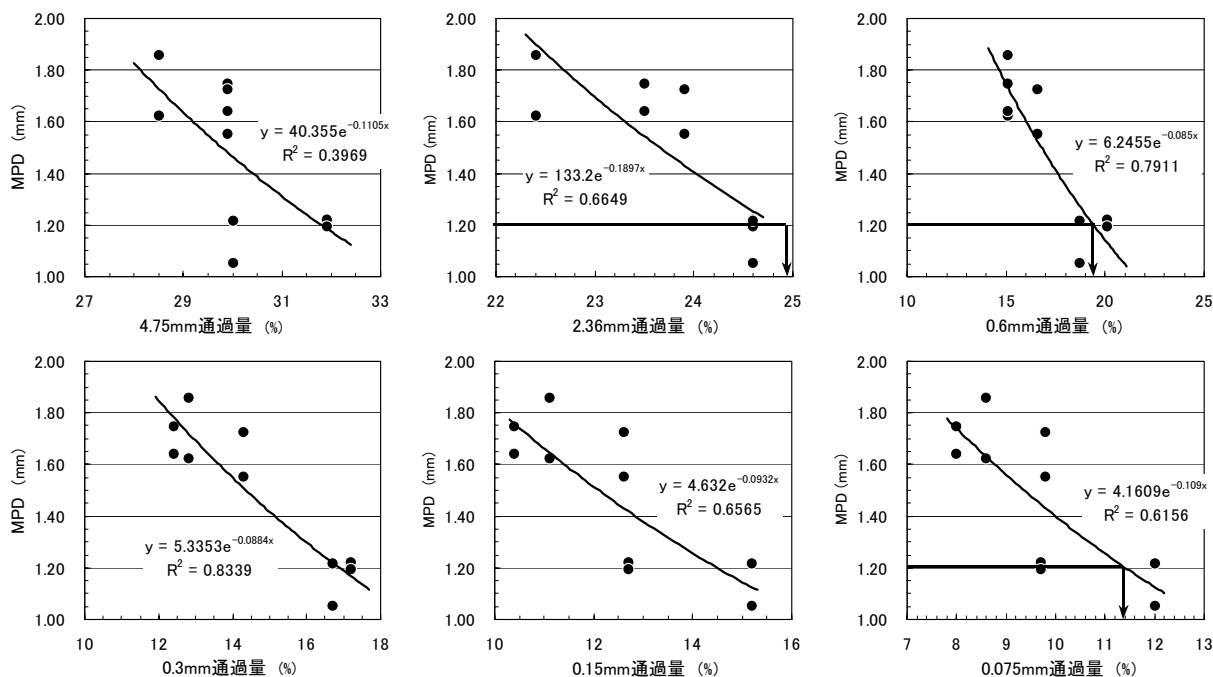


図-16 各ふるい通過量と MPD の関係

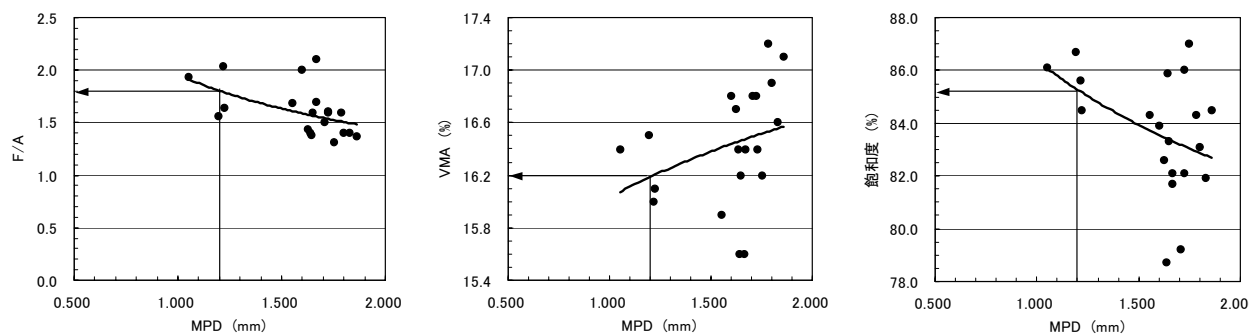


図-17 MPD と F/A, VMA および飽和度の関係

表-17 MPD を考慮した場合の配合特性値

項 目	特 性 値
F/A	1.8程度以下
VMA	16.2%程度以上
飽和度	85%程度以下
2.36mm通過量	25%程度以下
0.6mm通過量	20%程度以下
0.075mm通過量	8～11%程度

なり、きめ深さの観点から MPD を考慮した配合特性値を表-17 に示す。

(7) 配合設計の必要条件

ハイブリッド舗装混合物の適切な性能を有するための項目およびそれらに対する必要条件を表-18 に示す。

5. まとめと今後の課題

改質Ⅱ型を用いたハイブリッド舗装混合物に要求される性能を満足する配合設計奨励基準を表-19 に、標準粒度範囲を表-20 に示す。また、ハイブリッド舗装混合物の目標粒度と積雪寒冷地用高機能舗装（空隙率 17%）の中央粒度および SMA の中央粒度の関係を図-18 に示す。ハイブリッド舗装混合物は 4.75mm 以上が高機能舗装で、2.36 mm 以下は SMA に近似した粒度であり、まさに高機能舗装と SMA

を組み合わせたハイブリッドな粒度である。なお、ハイブリッド舗装混合物は非常に粒度範囲が狭く、粒度および OAC が限定される特異な混合物であるが、高速道路上で試験施工した結果、混合物の材料分離やアスファルトのダレなど見られず、扱いやすい混合物であった。また、高機能舗装に近似した騒音低減機能を有することや高機能舗装と同等のすべり抵抗値（ μ 80）を有することなどが確認できているが、今回は配合設計を中心にとりまとめた関係上施工に関する報告は、次の機会とさせて頂いた次第である。

ハイブリッド舗装混合物の配合設計について今後の課題を以下に示す。

① 4. (5) で述べた 0.6 mm 通過量とアスファルトモルタルによる粗骨材被膜形成への影響を解明する必要がある、骨材産地や岩種の違いなども含め、骨材標準粒度範囲の確認を行う必要がある。

② 吸水率が高い骨材は、比重の測定方法により比重の値が異なり、理論最大密度や VMA などに影響を及ぼし、また、扁平などの骨材形状の悪い粗骨材も VMA が大きくなり、OAC が定まりにくくなるという課題を有している。

③ 混合物運搬時のアスファルトのダレについて検討を行っておらず、マーシャル安定度試験を用いた配合設計に、アスファルト混合物の運搬時のダレを考慮した OAC 設定手法を研究する必要がある。

最後に、ハイブリッド舗装混合物は SMA のよう

表-18 ハイブリッド舗装混合物の各性能・機能を考慮した場合の配合設計の必要条件

項 目	耐 流 動 性	たわみ追従性	防 水 性	耐 摩 耗 性	すべり抵抗性	き め 深 さ	必 要 条 件
4.75mm通過量 (%)	30	いずれも 問題なし		いずれも 問題なし	いずれも 問題なし	30	30
2.36mm通過量 (%)	25以下					25以下	25以下
0.6mm通過量 (%)			20			18～20	20以下
0.075mm通過量 (%)				いずれも 問題なし		8～11	8～11
AS量 (%)			5.8以上				5.8以上
F/A	問題なし		1.8以上			1.8以下	1.8
VMA (%)	16.5以下		16.0以上			16.2以上	16.2～16.5
飽和度 (%)	87.5以下		85以上			85以下	85
空隙率 (%)			2.8以下				2.8以下

表-19 配合設計推奨基準値

項 目	推 奨 値
4.75mm通過量 (%)	30
2.36mm通過量 (%)	25以下
0.6mm通過量 (%)	18～20
0.075mm通過量 (%)	8～11
AS量 (%)	5.8以上
F/A	1.8
骨材間隙率 (VMA) (%)	16.2～16.5
飽和度 (%)	85
空隙率 (%)	2.8以下

表-20 ハイブリッド舗装混合物標準粒度範囲

ふるい目の開き (mm)	ふるい通過質量 百分率 (%)
4.75	28 ～ 32
2.36	22 ～ 25
0.6	18 ～ 20
0.3	12 ～ 17
0.15	10 ～ 13
0.075	8 ～ 11

に植物性繊維を用いず、また高機能舗装のように高粘度改質アスファルトを用いなくても、粒度と OAC、つまり配合の工夫によりイニシャルコスト抑え、優れた性能を発揮するアスファルト舗装であることを目標としており、今後、全国試験施工を実施し完成度を上げていく予定である。

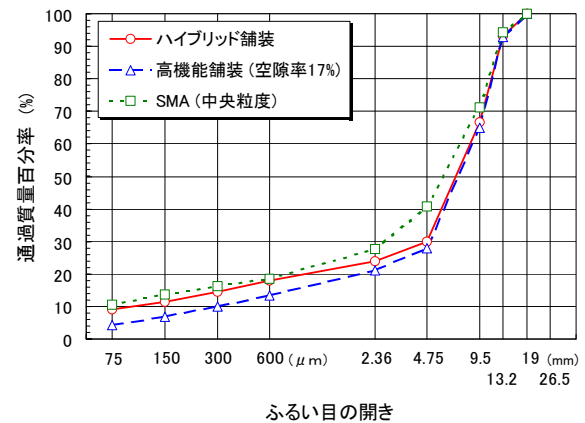


図-18 粒度曲線

参考文献

- 1) 松尾他：排水性舗装のきめ深さを有する機能性 SMA の開発研究と供用性の検証：道路建設，pp.28, 2002.1.
- 2) 日本道路公団：設計要領第一集，舗装編，pp.37, 1999.7.
- 3) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，pp.65, 1978.6.15 改訂版
- 4) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，pp.98, 1992.12.5 改訂版
- 5) (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，pp.59, 2001.9.25 初版
- 6) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，pp.562, 1985.11.10 初版
- 7) 日本道路公団：施工管理要領 舗装編，pp.4, 2000.8.

Development of New Type of Asphalt Mixture

Shiro MOTOMATSU, Keizo KAMIYA, Kengo TAKAHARA and Daijirou MATSUMOTO

A new type of asphalt mixture, which is composed of very rough texture for road surface similar to that of porous pavement, as well as the same functions as stone mastic asphalt for inside was developed. For evaluation of surface texture and waterproof, laboratory specimen was fabricated using roller compactor, which is expected to give similar compaction in field. Then those key properties from the evaluation were successfully reflected into conventional items of Marshall Stability Test for standardization of this mixture. Since it is important to fabricate laboratory specimen with properties similar to those in field, volumetric design method needs to be studied for such a new conceptual asphalt pavement in the future.