



9種類のアスファルト混合物の耐流動性および剥離抵抗性などの比較評価

吉田, 信之
上原, 孝義
飛ヶ谷, 明人
久利, 良夫
鎌田, 修

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 17:69-74

(Issue Date)

2013-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81011410>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011410>



9種類のアスファルト混合物の耐流動性および剥離抵抗性などの比較評価

Comparative evaluation of plastic flow resistance and stripping resistance of 9 different types of asphalt mixtures

吉田 信之¹⁾
Nobuyuki Yoshida
上原 孝義²⁾
Takayoshi Uehara
飛ヶ谷明人³⁾
Akito Higatani
久利 良夫⁴⁾
Yoshio Hisari
鎌田 修⁵⁾
Osamu Kamada

概要：アスファルト混合物の耐久性に関わる諸特性の評価は，例えば耐流動性についてはホイールトラッキング試験から得られる動的安定度の大小で行うことが一般的であり実績も豊富である。しかしながら，比較的大きな動的安定度を呈するようなアスファルト混合物に対してその優劣を評価することは容易ではない。また，剥離抵抗性については，水浸ホイールトラッキング試験や水浸マーシャル安定度試験といった別の試験を行って評価している。本研究では，中実円柱供試体の繰返しねじりせん断試験に基づいた耐久性評価指標を用いて，9種類のアスファルト混合物の耐流動性，剥離抵抗性等の諸特性の評価を試みた。

キーワード：アスファルト混合物，バインダー，耐流動性，剥離抵抗，ねじりせん断

1. 序論

近年，アスファルト舗装には，安全，快適な交通確保もさることながら，環境にも配慮した舗装構成や材料の開発が求められている。特に，舗装の高機能化，長寿命化，省資源化は国内外を問わず注視されている技術課題である。例えば，低騒音，排水性，保水性といった様々な機能を付加した舗装構成や材料の開発，耐久性の高い舗装構成や材料の開発，さらに天然資源の使用を抑制し，従来使用されていなかった廃棄物や他産業から排出される副産物を有効活用した舗装材料の開発などである¹⁾²⁾。

ところで，舗装構成や舗装材料の性能や耐久性を適切に評価することは，特に実績がほとんど無い構成や材料にチャレンジする上で大変重要である。実績のない材料を使用したアスファルト混合物の耐久性が実績豊富な材料を用いた混合物と比較してどの程度なのかといった優劣を定量的に精度よく評価することができれば，それらを有効活用していく上で非常に有益である。さらに，既設舗装のアスファルト混合物の耐久性がどのくらい残っているのかを定量的に評価できることも望ましい。

現在、アスファルト混合物の耐久性に関わる諸特性の評価については、例えば耐流動性についてはホイールトラッキング試験³⁾を行って得られる動的安定度(DS)の大小比較によるものがあり、最も実績のある評価法である。しかしながら、動的安定度が5000回/mmを超えるような比較的耐久性の高いアスファルト混合物に対しては、試験結果のバラツキが大きく信頼性に乏しいため評価に難がある³⁾。また、剥離抵抗性については水浸ホイールトラッキング試験⁴⁾や水浸マーシャル安定度試験⁵⁾といった別の試験を実施して評価しているのが実状である。

泓、足立ら⁶⁾⁷⁾は、上述の既往方法とは全く異なり、アスファルト混合物の中実円柱供試体の繰返しねじりせん断試験のみに基づいて、各種アスファルト混合物の耐流動性、剥離開始から破壊までの粘り強さ(剥離抵抗性)等の評価を試みている。

本報では、9種類のアスファルト混合物について耐久性に関わる諸特性の評価を行った。

2. 試験概要

(1) 試験装置および試験条件

繰返しねじりせん断試験に用いた装置および試験条件は既報⁶⁾⁷⁾の通りである。試験装置は、主に鉛直载荷ユニット、トルク载荷ユニットおよび制御ユニットの3つの要素から構成されている。その载荷ユニット部を図-1に示す。鉛直荷重は高精度レギュレーターを介したエアーシリンダーにより負荷するもので、トルクは電気・油圧サーボ制御によりアクチュエーターシリンダーを介して負荷する。载荷可能な軸力は6kN、側圧は最大約700kPa、最大トルクは約7kNmである。

試験は、エポキシ系接着剤を用いて、直径100~200mm・厚さ25~200mmの円柱形のアスファルト混合物供試体に载荷ユニットの脱着式上下キャップを固定して供試体ユニットを形成し、このユニットを载荷ユニットに設置した後、下キャップに所定のトルクを繰返し負荷してねじりせん断するものである。

試験条件は、繰返し载荷トルクを14Nmとし、载荷波形はハーバーサイン波で、载荷時間0.1秒、休止時間0.7秒である。試験中、供試体の軸方向変位が生じないように拘束しており、供試体は60℃の温水に浸水状態である。

試験中、供試体の回転角は下キャップ取り付け台に設置した磁気リニアスケールおよびレーザー変位計で計測しており、トルクは高精度トルク計を用いて、また軸力は高精度荷重計を用いて計測している。供試体の温度は、アクリル円筒容器内の温水の温度を熱電対で計測することで代用した。

(2) 供試体およびその性状

供試体は、密粒度アスファルト混合物(以降、密粒度)、ストーンマスチックアスファルト混合物(以降、SMA)およびポーラスアスファルト混合物(以降、ポーラス)を、それぞれ3種類の異なるバインダーを用いてマーシャル安定度試験用の供試体と同じ方法で作製した計9種類のアスファルト混合物である。供試体は直径100mm・高さ50mmである。用いたバインダーは、密粒度およびSMAについてはストレートアスファルト(以降、StAs)、ポリマー改質II型(以降、改質II型)およびポリマー改質III型(以降、改質III型)の3種類を、またポーラスについてはポリマー改質H型(以降、改質H型)、高耐久型ポリマー改質H型(以降、高耐久型)および鋼床版用ポリマー改質H型(以降、鋼床版)である。試験はバインダー毎に原則4個の供試体を用いて行った。各アスファルト混合物供試体の配合および諸特性を表-1にまとめて示す。表中の動的安定度であるが、密粒度では改質III型が最も大きくStAsが最も小さくなっており妥当な値であるが、SMAでは改質II型が最も大きく次いで改質III型になっている。本来、DSは改質III型の方が大きいはずであるため再検討が必要と考えられる⁸⁾。また、ポーラスでは改質H型のDSが最も大きく次いで鋼床版となっているが、バインダーメーカーの情報では高耐久型の方が改質H型より大きいはずとのことであり、再検討の余地がある。

表-2は、使用したバインダーの諸特性をまとめたものである。軟化点は、StAsが60℃以下であり、改質II型が60℃近傍であることから、本試験の供試体温度60℃というのはこれら2つのバインダーにとっては厳しい条件と言える。また、タフネスは

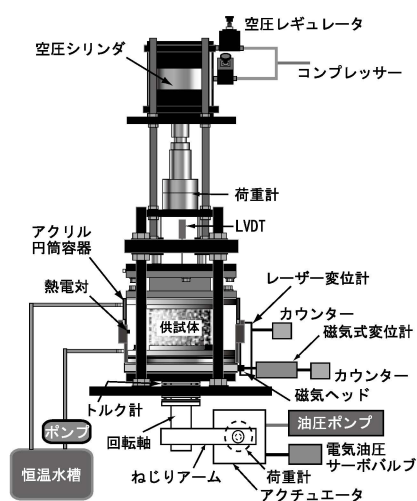


図-1 試験装置

表-1 各アスファルト混合物供試体の配合諸元と諸特性

混合物の種類		密粒度			SMA			ポーラス		
通過質量百分率 (%)	19mm	100			100			100		
	13.2	98.6			96.8			96.8		
	4.75	62.1			41.2			17.9		
	2.36	42.4			30.1			15.5		
	0.6	24.8			19.3			10.8		
	0.3	17.5			16.0			8.7		
	0.15	8.5			13.1			5.5		
	0.075	5.6			10.6			4.5		
アスファルトの種類		StAs	改質Ⅱ	改質Ⅲ	StAs	改質Ⅱ	改質Ⅲ	改質H	高耐久	鋼床版
アスファルト量(%)		5.4	5.4	5.4	6.4	6.4	6.4	5.0	5.0	5.0
繊維(%)		—	—	—	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1
密度(g/cm ³)		2.383	2.384	2.388	2.400	2.409	2.402	2.004	2.002	2.005
理論密度(g/cm ³)		2.502	2.500	2.499	2.457	2.456	2.455	2.525	2.525	2.525
空隙率(%)		4.8	4.6	4.4	2.3	1.9	2.2	20.6	20.7	20.6
マーシャル安定度(kN)		6.4	10.5	10.7	5.0	7.8	7.8	5.11	5.49	5.77
フロー(1/100cm)		25	34	31	40	45	44	29	35	34
動的安定度DS(回/mm)		338	7,534	14,700	1,400	5,300	3,200	9,500	5,300	6,500
透水係数(cm/sec)		4.4 × 10 ⁻⁶	5.2 × 10 ⁻⁸	0	0	0	0	1.2 × 10 ⁻¹	1.2 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻¹
曲げ破断ひずみ(× 10 ⁻³)		7.6	7.4	8.1	7.7	8.9	8.8	8.8	10.4	12.7
修正ロットマン試験		はく離なし	はく離なし	はく離なし	はく離なし	はく離なし	はく離なし	—	—	—

表-2 使用バインダーの諸特性

	針入度(25℃) 1/10 mm	軟化点 ℃	伸度(15℃) cm	タフネス(25℃) Nm	テナシティ(25℃) Nm
ストレートアスファルト	65	49.5	>100	—	—
ポリマー改質Ⅱ型	48	61.0	>100	24.0	22.5
ポリマー改質Ⅲ型	50	90.0	93	27.8	—
ポリマー改質H型	50	90.5	91	28.1	—
高耐久ポリマー改質H型	50	90.0	89	24.7	20.2
鋼床版用ポリマー改質H型	50	89.5	92	29.2	22.1

鋼床版用が最も大きく、次いで改質H型、改質Ⅲ型の順となっている。

3. 試験結果と考察

図-2 に、繰返しねじりせん断試験を実施して得られる平均せん断ひずみ（次式で算出）と载荷回数の関係の評価指標とともに示す。

$$\gamma_{ave} = \frac{2R\theta}{3H} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 γ_{ave} は平均せん断ひずみ(%)、 R は供試体半径(m)、 θ は供試体のねじれ角(rad)、 H は供試体高さ(m)である。図中、载荷初期の回転角が急増する段階を圧密段階、回転角がほぼ一定速度で増加する段階を流動段階、ふたたび回転角が急増し破壊するまでの段階を剥離段階である。ここで、圧密段階の直線部分を圧密直線、流動段階の直線部分を流動直線、剥離段階の直線部分を剥離直線と称し、また圧密直線と流動直線の交点を流動変曲点、流動直線と剥離直線の交点を剥離変曲点と称する。本報では、耐久性評価のために流動直線および剥離直線の各勾配、剥離変曲点での载荷回数および平均せん断ひずみを用いる。流動直線の勾配

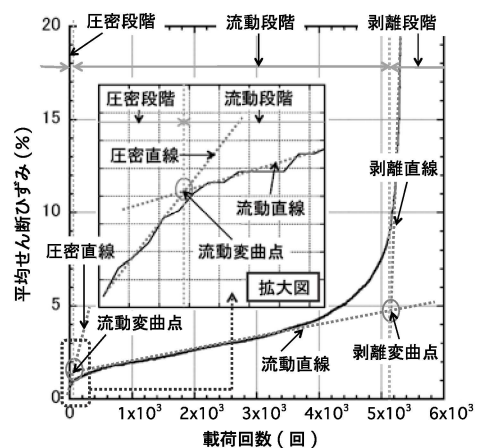


図-2 平均せん断ひずみと载荷回数の関係

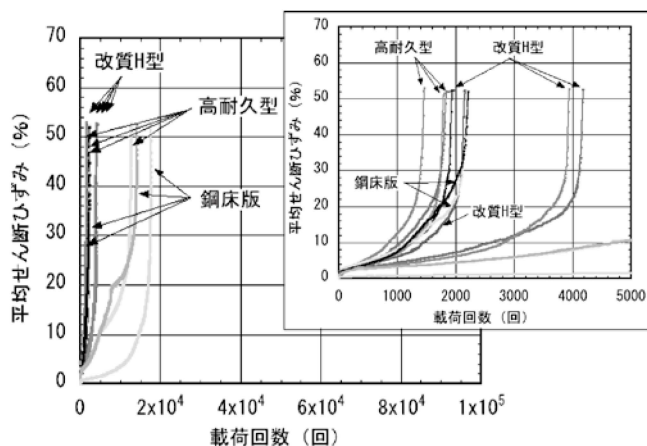


図-3 平均せん断ひずみと载荷回数の関係
(ポーラス As 混合物)

流動性については、ポーラスでは鋼床版が最も大きく高耐久型が最も小さいということになる。なお、前述した通り表-1 の DS の大小関係では改質 H 型が最も大きく高耐久型が最も小さいというような再検討を要する評価になっている。一方、SMA および密粒度では改質 III 型が最も大きく StAs が最も小さいという妥当な結果である。DS の大小関係 (表-1) では、前述したように SMA については妥当な評価が出来ていない。

次に、剥離から破壊までの粘り強さについて見てみると、剥離直線の勾配の大小関係よりポーラスでは鋼床版が最も大きく高耐久型が最も小さい。これは、表-2 のテナシティ (タフネス) の大小関係と整合している。また、SMA では改質 II 型が最も大きく StAs が最も小さくなっているが、密粒度では改質 III 型が最も大きく StAs が最も小さい。

さらに、剥離変曲点での载荷回数については、ポーラスでは鋼床版が最も多く、改質 H 型が最も少ない。また、密粒度では改質 III 型が最も多いが、SMA では改質 III 型ではなく改質 II 型が最も多くなっている。これは、3 個の改質 II 型の結果のうち 1 個だけ異常に大きな値を示したことによる影響である。

ところで、密粒度と SMA については、使用した 3 種類のバインダー (StAs, 改質 II 型, 改質 III 型) が同じであることからバインダー毎に比較できる。表-3 から、耐流動性、剥離から破壊までの粘り強さ、剥離変曲点での载荷回数のいずれにおいても、SMA の方が密粒度よりも優れていることがわかる。一方、表-1 の DS による評価では、耐流動性についてしか言えないが、改質 II 型と改質 III 型で密粒度の方が SMA よりも優れていることになり、これまでの経験とは矛盾する評価になっている。

4. 結論

本報では、9 種類のアスファルト混合物について、繰返しねじりせん断試験から得られる指標を用いて、耐久性に係わる耐流動性、剥離から破壊までの粘り強さ、剥離までの载荷回数等を比較検討した。ポーラスでは、耐流動性および剥離から破壊までの粘り強さとともに鋼床版用 > 改質 H 型 > 高耐久型と評価された。また、密粒度では両特性ともに改質 III 型 > 改質 II 型 > StAs となったが、SMA については剥離から破壊までの粘り強さが改質 II 型 > 改質 III 型 > StAs となった。評価結果の妥当性を検証するためには、さらなるデータの蓄積が必要である。また、今後、アスファルト混合物の耐久性に関わる諸特性とバインダーの諸特性との関係も調べていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 吉田信之, 小野さゆり, 泓 敦大, 足

は耐流動性を表す指標であり、勾配が小さいほど耐流動性が大きいこと意味する。また、剥離直線の勾配は剥離から破壊までの粘り強さ (剥離抵抗性) を表し、勾配が小さいほど剥離抵抗性が大きいことになる。

図-3 に、一例としてポーラス供試体で得られた平均せん断ひずみと载荷回数の関係を示す。平均せん断ひずみと载荷回数の関係は、一部いびつな曲線を呈するものも見られるが、図-2 に示すような逆 S 字曲線を示していることが分かる。また、ここには示していない密粒度や SMA の場合も同じような平均せん断ひずみと载荷回数の関係であった。

さて、全ての As 混合物について得られた評価指標 (平均値) をまとめて表-3 に示す。

表から、流動直線の勾配の大小関係より耐

表-3 評価指標一覧

		流動直線	剥離直線	剥離変曲点		試験 個数
		勾配		载荷回数	せん断 ひずみ	
		(%/回) x100,000		(回)	(%)	
密粒度As	StAs	3,118	48,684	254	9.19	4
	改質II型	59	9,649	6,791	5.26	4
	改質III型	31	2,400	14,156	5.73	1
SMA	StAs	1,168	6,877	1,029	14.69	3
	改質II型	24	577	43,163	8.33	3
	改質III型	21	1,358	38,003	9.42	4
ポーラスAs	改質H型	317	17,000	2,807	9.86	4
	高耐久型	445	22,932	4,132	11.78	4
	鋼床版	285	8,438	8,490	12.4	4

- 立 健：繰返しねじりによるアスファルト混合物の耐久性評価に関する一検討（速報），神戸大学都市安全研究センター研究報告，No. 14，pp. 69-74，2010.
- 2) 吉田信之，足立 健，泓 敦大：繰返しねじりせん断による密粒度アスファルト混合物の耐久性評価について，神戸大学都市安全研究センター研究報告，No. 15，pp. 69-72，2011.
- 3) 日本道路協会：ホイールトラッキング試験方法，舗装調査・試験方法便覧，第 3 分冊，pp. (3)-39-(3)-56，2007.
- 4) 日本道路協会：水浸ホイールトラッキング試験方法，舗装調査・試験方法便覧，第 3 分冊，pp. (3)-57-(3)-68，2007.
- 5) 日本道路協会：マーシャル安定度試験方法，舗装調査・試験方法便覧，第 3 分冊，pp. (3)-5-(3)-16，2007.
- 6) 泓 敦大，小野さゆり，足立 健，吉田信之：繰返しねじりせん断に伴う累積変形に基づくアスファルト混合物の耐久性評価の試み，土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集 CD，V-044，2010.
- 7) 足立 健，泓 敦大，吉田信之：繰返しねじりせん断試験に基づく 3 種類のアスファルト混合物の耐久性について，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集 CD，V-417，2011.
- 8) 日本改質アスファルト協会：ポリマー改質アスファルト，ポケットガイド，pp. 13-26，日本改質アスファルト協会，2010.

著者：1) 吉田信之，都市安全研究センター，准教授；2) 上原孝義，神戸大学工学部，学生；3) 飛ヶ谷明人，阪神高速道路(株)；4) 久利良夫，(財)阪神高速道路管理技術センター；5) 鎌田 修，鹿島道路(株)技術研究所

COMPARATIVE EVALUATION OF PLASTIC FLOW RESISTANCE AND STRIPPING RESISTANCE OF 9 DIFFERENT TYPES OF ASPHALT MIXTURES

Nobuyuki Yoshida
Takayoshi Uehara
Akito Higatani
Yoshio Hisari
Osamu Kamada

Abstract

In this paper, some durability-related properties of 9 different types of asphalt mixtures were evaluated by performing repeated torsional shear tests on their cylindrical specimens. Asphalt mixtures tested are dense-graded and stone mastic asphalt mixtures with three different binders, straight asphalt, Type-II polymer-modified asphalt and Type-III polymer-modified asphalt. Moreover, porous asphalt mixtures with three different binders, Type-H polymer-modified asphalt, Type-H polymer-modified asphalts for high durability and for steel plate deck pavement, were also tested. Based on the test results, plastic flow resistance, tenacity from stripping initiation up to rupture, the number of load applications at the inflection point for stripping, etc. were evaluated in a comparative manner. The main findings are followings:

- Regarding the plastic flow resistance, for the both dense-graded and stone mastic asphalt mixtures, the Type-III polymer-modified asphalt possesses the highest resistance and the straight asphalt the lowest. For the porous asphalt mixtures, the Type-H polymer-modified asphalt for steel plate deck pavement exhibits the highest resistance and the Type-H polymer-modified asphalt for high durability the lowest.

- Regarding the tenacity from stripping initiation up to rupture, for the dense-graded asphalt mixtures, the Type-III polymer-modified asphalt possesses the highest tenacity and the straight asphalt the lowest but for the stone mastic asphalt mixtures, the Type-II polymer-modified asphalt gives the highest tenacity and the straight asphalt the lowest. For the porous asphalt mixtures, the Type-H polymer-modified asphalt for steel plate deck pavement gives the highest tenacity and the Type-H polymer-modified asphalt for high durability the lowest.

- Regarding the number of load applications at the inflection point for stripping, for the dense-graded asphalt mixtures, the Type-III polymer-modified asphalt sustains the largest number and the straight asphalt the smallest but for the stone mastic asphalt mixtures, the Type-II polymer-modified asphalt sustains the largest number and the straight asphalt the smallest. For the porous asphalt mixtures, the Type-H polymer-modified asphalt for steel plate deck pavement sustains the largest number and the Type-H polymer-modified asphalt the smallest.