



6種類のアスファルト混合物の耐久性評価について

吉田, 信之
泓, 敦弘
飛ヶ谷, 明人
久利, 良夫
佐藤, 雄輔

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 16:83-89

(Issue Date)

2012-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81011376>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011376>



6種類のアスファルト混合物の耐久性評価 について

Durability evaluation on six types of asphalt mixtures

吉田 信之¹⁾
Nobuyuki Yoshida
泓 敦大²⁾
Atsuhiko Fuke
飛ヶ谷 明人³⁾
Akito Higatani
久利 良夫⁴⁾
Yoshio Hisari
佐藤 雄輔⁵⁾
Yusuke Sato

概要：現在、アスファルト混合物の耐久性の評価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。本研究では、これまで研究開発してきた中実円柱供試体の繰返しねじりせん断試験に基づく耐久性評価法を用いて、各種アスファルト混合物の耐久性に関わる諸特性の評価を試みている。本報では、6種類のアスファルト混合物の耐久性の評価を行った。

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ある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することも望ましい。

アスファルト混合物の耐久性に関する評価方法については、例えば耐流動性という観点から我が国ではホ

イールトラッキング試験³⁾（以下、WT試験と称す）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。これは、長さおよび幅がそれぞれ300mm、厚さ50mmの板状のアスファルト混合物供試体の表面中央部に、直径200mm、幅50mmのゴム製ソリッドタイヤ（輪荷重686N、接地圧0.63MPa）を毎分42回の速度で移動距離230mmを前後に往復走行させる試験である。試験中に移動距離中心位置での供試体の圧縮変形量を計測して動的安定度を算出するものである。ただし、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欠けると言われている³⁾。また、米国でもWT試験は実績豊富な試験であり、耐流動・剥離抵抗性を評価するために実施されている⁴⁾。ただし、40～50℃の水浸状態の板状供試体上を直径208mm、幅47mmの鉄輪（輪荷重705N）を往復走行させるといった試験法や剥離変曲点を評価指標としている点など、我が国のWT試験による評価法（水浸WT試験⁵⁾も含めて）とは相違点が少なくない。

米国では荷重や交通量の増大と相俟ってアスファルト舗装の耐わだち掘れに関する調査研究が精力的に行われてきた⁶⁾⁷⁾。その間、交通荷重によって混合物内に生ずるせん断力によるせん断変形がアスファルト混合物の塑性変形の支配的要因であるとの観点から、混合物のスティフネスと累積塑性せん断ひずみを求めるために単純せん断モードを負荷するスーパーペーパーせん断試験（SSTと称する）による評価方法が開発されている⁶⁾⁸⁾。これは、直径150mm、厚さ38～50mmのアスファルト混合物の円柱供試体の上下端を載荷キャップに固定して、単純せん断変形を維持させたまま単調載荷あるいは繰返し載荷を行うものである。この試験法は混合物の配合設計への応用も試みられてはいるものの⁹⁾、あまり実施されてはいないようである。我が国でもその実務への適用について一時検討されてはいたが、ほとんど実施されていないのが現状である。これは、試験が複雑かつ高価であることや試験装置の仕組みから判断して試験中に単純せん断変形が保証されているかどうか疑問が残るなどの理由が原因ではないかと考えられる。

本研究では、上述の既往方法とは異なり、これまで研究開発してきた中実円柱供試体の繰返しねじりせん断試験に基づく耐久性評価法を用いて¹⁾²⁾、各種アスファルト混合物の耐久性に関わる諸特性の評価を試みている。本報では、6種類の密粒度アスファルト混合物の耐久性の評価を行った。

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¹⁰⁾¹¹⁾の通りである。試験装置は、主に鉛直載荷ユニットとトルク載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る。その載荷ユニット部を図-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ものである。載荷可能な軸力は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50～200mmの円柱形のアスファルト混合物供試体に載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、このユニットを載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、繰返し載荷トルクを14Nmとし、載荷波形はハーバーサイン波で、載荷時間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。

試験中の計測項目については、供試体の回転角を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た。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

アスファルト混合物の供試体は、密粒度アスファルト混合物（以降、密粒度As）とストーンマッシュアスファルト混合物（以降、SMA）の2種類であり、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

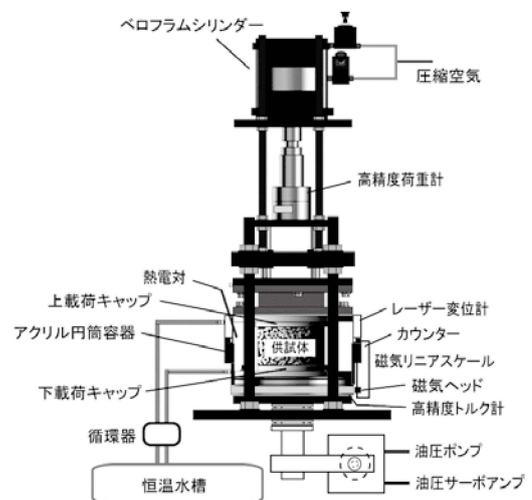


図-1 試験装置

表-1 アスファルト混合物の配合諸元と諸特性

混合物の種類		密粒			SMA		
通過質量百分率 (%)	19mm	100			100		
	13.2	98.6			96.8		
	4.75	62.1			41.2		
	2.36	42.4			30.1		
	0.6	24.8			19.3		
	0.3	17.5			16.0		
	0.15	8.5			13.1		
	0.075	5.6			10.6		
アスファルトの種類		StAs	改質 II	改質 III	StAs	改質 II	改質 III
アスファルト量(%)		5.4	5.4	5.4	6.4	6.4	6.4
繊維(%)		—	—	—	0.5	0.5	0.5
密度(g/cm ³)		2.383	2.384	2.388	2.400	2.409	2.402
理論密度(g/cm ³)		2.502	2.500	2.499	2.457	2.456	2.455
空隙率(%)		4.8	4.6	4.4	2.3	1.9	2.2
マーシャル安定度(kN)		6.4	10.5	10.7	5.0	7.8	7.8
フロー(1/100cm)		25	34	31	40	45	44
動的安定度DS(回/mm)		338	7,534	14,700	1,400	5,300	4,800
曲げ破断ひずみ(×10 ⁻³)		7.6	7.4	8.1	7.7	8.9	8.8

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	—

用の供試体と同じ方法で作製したものである。ただし、供試体は直径 100mm・高さ 50mm である。用いたバインダーは、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）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。動的安定度については、密粒度 As では改質 III 型が最も大きく、StAs が最も小さいが、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。通常、改質 III 型の方が改質 II 型よりも動的安定度は大きいはずであることから、SMA の動的安定度には検討の余地がある¹²⁾。ただし、空隙率を見ると、バインダーや混合物の種類に係わらず動的安定度は空隙率との対応がよいことがわかる。すなわち、動的安定度は、空隙率が小さいほど大きい。

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、改質 III 型が 60℃以上であることから、本試験の供試体温度 60℃というの前者 2 つのバインダーにとっては厳しい条件と言える。また、タフネスは改質 III 型の方が改質 II 型より大きいことから、改質 III 型の方が骨材の把握力が大きいと言うことになる。

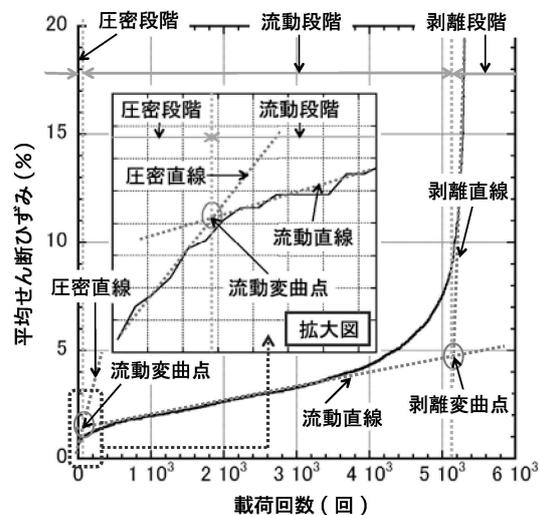


図-2 平均せん断ひずみと载荷回数の関係および評価指標

3. 試験結果と考察

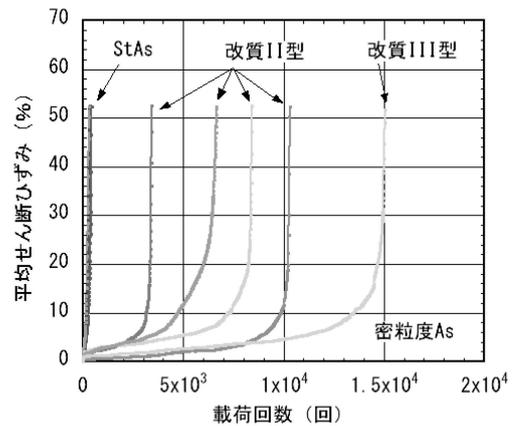
図-2に、繰返しねじりせん断試験を実施して得られる平均せん断ひずみ（次式で算出）と载荷回数との関係を、幾つかの指標とともに示す。

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

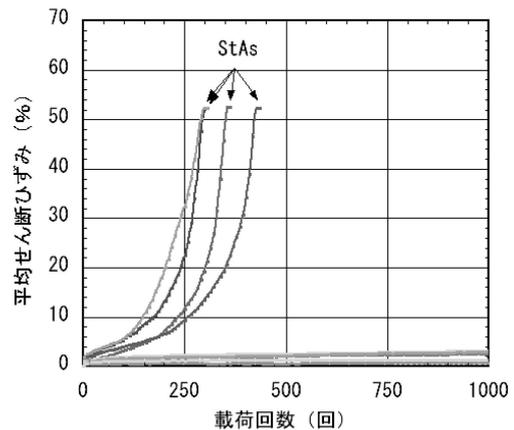
ここで、 R は供試体半径(m)、 θ は供試体のねじれ角(rad)、 H は供試体高さ(m)である。図中、载荷初期の回転角が急増する段階を圧密段階、回転角がほぼ一定速度で増加する段階を流動段階、ふたたび回転角が急増し破壊するまでの段階を剥離段階である。ここで、圧密段階の直線部分を圧密直線、流動段階の直線部分を流動直線、剥離段階の直線部分を剥離直線と称し、また圧密直線と流動直線の交点を流動変曲点、流動直線と剥離直線の交点を剥離変曲点と称する。本報では、耐久性評価のために流動直線および剥離直線の各勾配、剥離変曲点での载荷回数および平均せん断ひずみを用いる。流動直線の勾配は耐流動性を表す指標であり、勾配が小さいほど耐流動性が大きいことを意味する。剥離直線の勾配は剥離から破壊までの粘り強さを表し、勾配が小さいほど粘り強さが大きいことになる。

図-3に密粒度As混合物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。なお、改質III型のデータは試験の失敗等により1個のみである。図から、载荷回数の増加に伴う平均せん断ひずみの増加傾向は、いずれの供試体でも図-2に例示したものとほとんど同じである。また、試験終了時点での载荷回数の平均値は、改質III型が最も多く、StAsが最も少ないことがわかる。この関係図から読み取った各評価指標の平均値をまとめて表-3に示す。表から、耐流動性については改質III型が最も大きくStAsが最も小さいことが分かる。これは表-1に示す動的安定度の大小関係と同じである。また、剥離から破壊までの粘り強さも、改質III型が最も大きくStAsが最も小さい。

次に、SMA混合物での結果を図-4に示すが、まず改質II型のデータのばらつきが大きいことがわかる。耐流動



(a) 全体図



(b) 拡大図

図-3 平均せん断ひずみと载荷回数の関係 (密粒度As)

表-3 評価指標一覧

		流動直線	剥離直線	剥離変曲点	
		勾配		せん断ひずみ	载荷回数
		(%/回)*100,000		(%)	(回)
密粒度	StAs	3,118	48,684	9.19	254
	改質II型	59	9,649	5.26	6,791
	改質III型	31	2,400	5.73	14,156
SMA	StAs	1,168	6,877	14.69	1,029
	改質II型	24	577	8.33	43,163
	改質III型	21	1,358	9.42	38,003

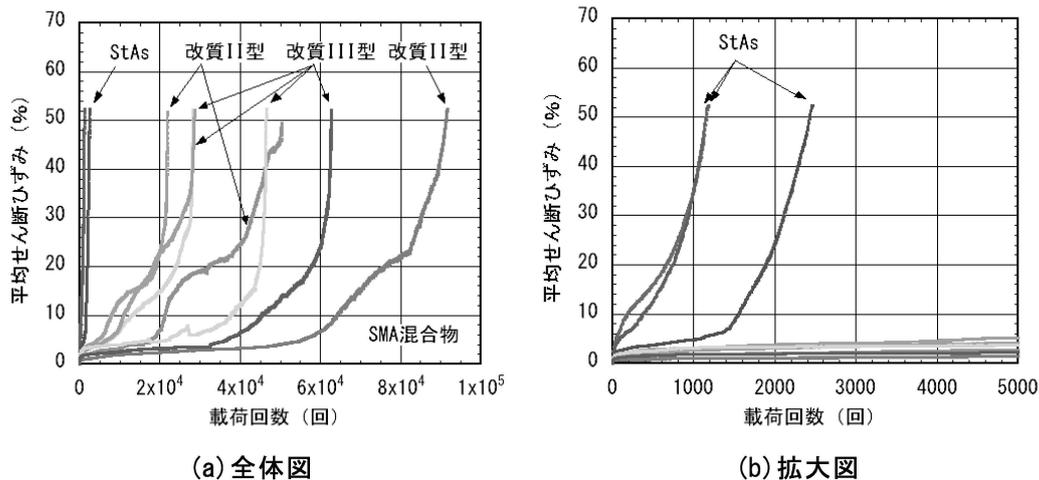


図-4 平均せん断ひずみと载荷回数との関係 (SMA)

性は密粒度の場合と同じように改質 III 型が最も大きく StAs が最も小さいことが分かる (表-3)。ただし、表-1 の動的安定度は改質 II 型が最も大きい値になっており整合していない。また、剥離から破壊までの粘り強さについても改質 II 型が最も大きく StAs が最も小さい。

一方、剥離変曲点でのせん断ひずみは、密粒度・SMA とともに StAs が最も大きく改質 III 型と改質 II 型はいずれも小さい。同変曲点での载荷回数については、密粒度では改質 III 型が最も多いが SMA では改質 II 型が最も多くなっている。これは、図-4 でわかるように改質 II 型の 1 個の試験結果が大きく影響しているからである。

ところで、ここで用いたバインダーの軟化点は表-2 に示す通り StAs・改質 II 型・改質 III 型それぞれ 49.6℃・61.0℃・90.0℃であること、さらにタフネスは改質 III 型の方が改質 II 型よりも若干大きいことを考えると、密粒度 As 混合物の評価結果は妥当なものと考えられるが、SMA 混合物の結果については一部検討が必要であると言える。

4. 結論

本報では、6 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、剥離までの許容せん断変形量および载荷回数を比較検討した。耐流動性の大小関係については、密粒度 As では改質 III 型>改質 II 型>StAs となり、剥離から破壊までの粘り強さの大小関係についても改質 III 型>改質 II 型>StAs となった。一方、SMA でも耐流動性の大小関係は改質 III 型>改質 II 型>StAs となったが、剥離から破壊までの粘り強さについては実験結果のバラツキに起因して改質 II 型>改質 III 型>StAs となった。

今後、さらに試験データの蓄積を図ると共に試験結果の取捨選択も含めた改良を継続的に行っていく所存である。

参考文献

- 1) 吉田信之, 小野さゆり, 泓 敦大, 足立 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) AASHTO: Standard method of test for Hamburg wheel-track testing of compacted hot mix asphalt (HMA), AASTHO Designation T 324-04. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of

- Sampling and Testing, 28th Edition, pp.T324-1-T324-7, 2008.
- 5) 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.
 - 6) Monismith, C.L., Hicks, R.G., Finn, F.N., Sousa, J., Harvey, J.T., Weissman, S., Deacon, J., Coplantz, J. and Paulsen, G. : Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregate Mixes. SHRP-A-415, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 437p. 1994.
 - 7) Weissman, S.L., Sackman, J., Harvey, J.T. and Long, F. : Selection of laboratory test specimen dimension for deformation of asphalt concrete pavements. Transportation Research Record 1681, pp. 113-120, 1999.
 - 8) AASHTO : Standard method of test for determining the permanent shear strain and stiffness of asphalt mixtures using the Superpave Shear Tester (SST), AASHTO Designation T 320-07. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 28th Edition, pp.T320-1-T320-13, 2008.
 - 9) Monismith, C.L., Long, F., and Harvey, J.T. : California's Interstate-710 rehabilitation: mix and structural section designs, construction specifications. Journal of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 70, pp. 762-799, 2001.
 - 10) 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.
 - 11) 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.
 - 12) 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) 泓 敦弘, 神戸大学大学院工学研究科, 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) 佐藤雄輔, 鹿島道路(株)技術研究所

DURABILITY EVALUATION ON SIX TYPES OF ASPHALT MIXTURES

Nobuyuki Yoshida
Atsuhiko Fuke
Akito Higatani
Yoshio Hisari
Yusuke Sato

Abstract

In this paper, the durability of six different types of asphalt mixtures, dense-graded asphalt mixtures with three different binders and stone mastic asphalt mixtures with three different binders, was evaluated by performing repeated torsional shear tests on their cylindrical specimens. Based on the test results, several indices for evaluating some aspects of durability of asphalt mixtures were derived and compared. 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.
- About the tenacity from stripping up to rupture, the Type-III polymer-modified asphalt possesses the highest tenacity and the straight asphalt the lowest for the dense-graded asphalt mixtures: but for the stone mastic asphalt mixtures, the Type-II polymer-modified asphalt gives the highest tenacity attributing to scatter in the test results.