

## 北海道地域における再生アスファルト混合物の設計圧裂係数に関する検討

### Study on Design Compression Splitting Coefficient of Recycled Asphalt Mixture in Hokkaido

上野 千草 井谷 雅司 丸山 記美雄

UENO Chigusa, ITANI Masashi and MARUYAMA Kimio

舗装再生便覧（平成22年版）において、再生アスファルト混合物の新たな配合設計法として、設計圧裂係数を用いる手法が追加された。しかし、この中では北海道地域で用いられている針入度規格80-100(1/10mm)に対応した設計値（設計圧裂係数）が定められておらず、北海道地域においてはこの手法を用いた配合設計の活用が進んでいない現状にある。本研究では、現在北海道地域で用いられている設計針入度による配合設計法により製造された針入度規格80-100(1/10mm)の再生アスファルト混合物の圧裂係数を把握するとともに、針入度規格80-100(1/10mm)に対応する設計圧裂係数の検討を行った。この結果、設計圧裂係数は0.25～0.40 MPa/mm 程度が妥当との結論が得られた。

《キーワード：再生アスファルト混合物；アスファルト再生骨材；圧裂係数；北海道》

The Handbook of Pavement Recycling was revised in 2010. The revision includes a new mix design method for recycled asphalt mixtures using design compression splitting coefficients. However, the Handbook does not provide any specific design compression splitting coefficient suitable for recycled asphalt with a penetration value of 80-100 (1/10 mm), which is the standard used in the Hokkaido region. For this reason, this mix design method has been hardly used in the region. This study was conducted to establish a mix design method for recycled asphalt mixtures using a design compression splitting coefficient suited for Hokkaido. The results showed that 0.25-0.40MPa/mm is an appropriate design compression splitting coefficient for recycled asphalt with a penetration value of 80-100 (1/10 mm).

《Keywords : Recycled Asphalt Mixture; Recycled Asphalt Aggregate; Compression Splitting Coefficient; Hokkaido》

## 1. はじめに

我が国におけるアスファルト再生骨材（以下、再生骨材）のアスファルト混合物（以下、混合物）への利用は、本州等で1980年代から本格的に行われている。積雪寒冷地である北海道においても、1998年度から国道の表層混合物に再生骨材が利用されており、再生骨材の利用から20年以上が経過し、2回目以降のリサイクルに入り、劣化の進んだ再生骨材の発生・増加が確認されている。また、耐流動対策舗装や排水性舗装、北海道型SMA等に代表されるポリマー改質アスファルト（以下、改質As）を使用した混合物<sup>1),2),3)</sup>の発生材についても、再生骨材用の材料として受入れが増加しており、再生骨材の品質の多様化が進んでいる<sup>4)</sup>。

これに伴い、平成22年に舗装再生便覧が改訂され、これまでの旧アスファルト（以下、旧As）の針入度の規格値に代わる方法として、圧裂試験を用いた圧裂係数による再生混合物の品質管理手法が追加されている<sup>5)</sup>。これまでの針入度による品質管理手法では、劣化が要因となって旧Asの針入度が低下した再生骨材と、改質Asの影響により旧Asの針入度が低い再生骨材を区別することは困難であったが、圧裂係数を用いた手法ではこれらを区別することが可能になり、品質の低い再生骨材を判定できるようになった。さらに、再生混合物の配合設計においても、これまでの設計針入度への調整方法に加え、設計圧裂係数による配合設計法が追加された。再生骨材の品質規格である圧裂係数1.70MPa/mmは、全国一律の規格であるが、再生混合物の設計圧裂係数は針入度規格ごとに設けられており、針入度規格40-60、針入度規格60-80について圧裂係数の範囲が規定された。一方、北海道地域において低温ひび割れの抑制等を目的に使用している針入度規格80-100（以下、80-100）の再生アスファルト（以下、再生As）に対応する設計圧裂係数は規定されていないのが現状である。このため、北海道地域では再生アスファルトプラント（以下、プラント）における圧裂試験装置の導入が進んでおらず、圧裂係数による再生骨材の品質管理も進んでいない現状にある<sup>1)</sup>。

本研究では、北海道地域における設計圧裂係数による再生混合物の配合設計法の導入に向け、既存の設計針入度による配合設計法で配合設計された再生混合物の圧裂係数の調査を行い、現状の再生混合物の圧裂係数を把握するとともに、80-100に対応した設計圧裂係数の検討を行った。この結果、設計圧裂係数0.25～0.40MPa/mm程度が妥当であるとの結論を得た。

## 2. 設計圧裂係数

舗装再生便覧に規定されている再生混合物の設計圧裂係数は図-1の通りであり、再生Asの針入度規格によって異なり、再生As40-60に対応する設計圧裂係数は0.60～0.90MPa/mm、再生As60-80では0.40～0.60MPa/mmとなっている。

しかし、北海道地域で用いられている再生As80-100の規格に対応する設計圧裂係数は定められていないため、北海道地域では再生骨材の品質管理において圧裂係数を用いたとしても、再生混合物の配合設計においては再生骨材の旧Asに対し針入度試験を実施しなければならず二度手間になることから、現在北海道内の全てのプラントで針入度による再生骨材の品質管理、再生混合物の配合設計が行われている。

図-1の再生Asの針入度と再生混合物の圧裂係数の関係より、再生As40-60および再生As60-80と同様に、再生As80-100の設計圧裂係数を推定すると図中青字の通り0.25～0.40MPa/mmとなる<sup>6)</sup>。

なお、図-1に示される赤色の曲線は主に再生As40-60および60-80を用いた密粒度アスコン13の結果であり、北海道で用いられる針入度規格80～100(1/10mm)の再生Asおよび北海道地域で主に用いられる配合である密粒度アスコン13Fにおける結果は含まれていない。

このため、北海道で用いられている配合においても再生As40-60および再生As60-80と同様の手法で設計圧裂係数の設定が可能であるかを把握するためには、密粒度アスコン13Fの配合粒度においても再生Asの針入度と再生混合物の圧裂係数に同様の関係があるかを検証する必要がある。

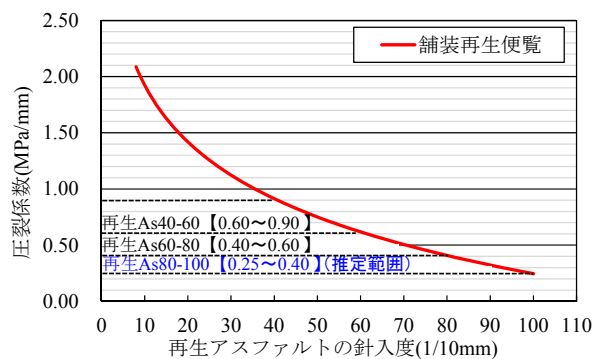


図-1 設計圧裂係数

## 2. 1 アスファルト混合物の針入度と圧裂係数の関係

北海道地域で用いられている再生As80-100を用いた混合物の再生Asの針入度と再生混合物の圧裂係数の関係を把握するため、北海道地域の一般道で主として用いられている密粒度アスコン13Fの配合で混合物を作製し、強制的に劣化させ、劣化度合いの異なる混合物を作製し、針入度試験および圧裂試験を実施した。

### 2. 1. 1 評価対象

評価対象は表-1に示す配合粒度によって作製した新規骨材および新規As80-100を用いた混合物（以下、新規）と、再生骨材を骨材配合率20%および50%で使用した混合物（以下、再生20および再生50）の3条件である。

今回2種類の再生混合率を設定したが、これは北海道地域において形式の異なる2種類のプラントが主に稼働しており、再生骨材を直接加熱し加熱した新規骨材と混合する形式のプラントでは再生混合率を50%、常温の再生骨材を加熱した新規骨材と混合する加熱方式のプラントでは主に再生混合率を20%としているためである。

### 2. 1. 2 使用骨材

新規骨材は石狩地区で一般に舗装材料として使用されている材料を用い、再生骨材は同じく石狩地区のプラントより採取した旧As針入度20 (1/10mm)の材料を用いた。

### 2. 1. 3 劣化手法

アスファルト混合物をバットに敷きならし110℃の恒温乾燥炉に入れて所定の時間養生し、強制的に劣化させる手法を用いた<sup>6)</sup>。なお、恒温乾燥炉での養生時間を変えることにより劣化度合いの異なる試料を作製している。

### 2. 1. 4 圧裂試験

圧裂試験にはAUTOGRAPH（島津製作所製）を用い、表-2に示す条件にて試験を実施した。

## 2. 2 試験結果

圧裂試験および針入度試験の結果を図-2に示す。いずれの配合においても、図中に赤色曲線で示す舗装再生便覧に記載されている再生Asの針入度と再生混合物の圧裂係数の関係と同様の結果が得られた。このことより、舗装再生便覧に示される針入度と圧裂試験の関係より、針入度規格80-100においても針入度規格40-60、60-80と同様の手法で設計圧裂係数を設定できる可能性が示唆された。

表-1 密粒度アスコン13Fの配合粒度

混合物種類	密粒度アスコン13F				
	新材	再生20	再生50	粒度範囲	
骨材配合率 (%)	砕石6号	41.0	32.0	25.9	—
	砕石7号	5.4	6.9	0.0	—
	粗砂	25.6	9.9	15.5	—
	細砂	12.6	19.4	0.0	—
	石粉	9.7	7.1	5.7	—
	再生骨材	0.0	18.8	47.1	—
	アスファルト	5.7	6.0	5.8	—
通過重量百分率 (%)	19.0 mm	100.0	100.0	100.0	100
	13.2	99.6	99.5	99.6	95~100
	4.75	61.8	63.1	62.0	52~72
	2.36	49.7	50.0	50.1	40~60
	600 μm	39.4	40.4	33.9	25~45
	300	22.7	23.9	23.2	16~33
	150	12.0	11.5	12.4	8~21
75	9.4	8.5	8.5	6~11	

表-2 圧裂試験条件

項目	条件	備考
載荷速度	50 mm/min	サーボモーター
サンプリング間隔	100 Hz	自動計測
変位計測	載荷速度×載荷時間	自動計測
供試体養生温度	20℃	—

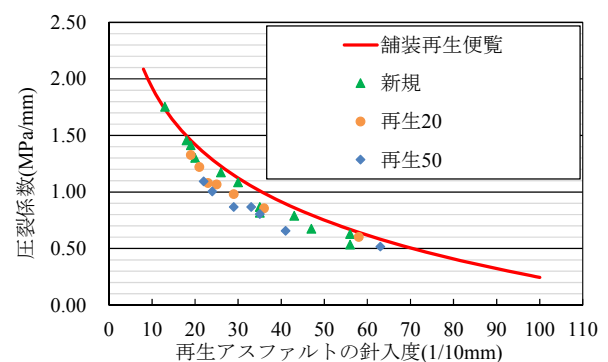


図-2 再生アスファルトの針入度と圧裂係数の関係

## 3. 室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数

針入度規格80-100に対応する設計圧裂係数の設定幅の検討を目的に、既存の設計針入度への調整を行う手法により再生用添加剤量を決定し作製した再生混合物の圧裂係数を確認した。

なお、前述の通り、北海道地域では全てのプラントが設計針入度への調整により再生混合物の配合設計を行っており、これにより配合設計された再生混合物の圧裂係数が図-1に示した設計圧裂係数の推定範囲と一致すれば、設計手法の移行が円滑に行えると考える。

### 3. 1 評価対象

評価対象は、繰り返しリサイクルされた材料が今後増加すると考えられることから、再生混合物の他に、再再生混合物、および再々再生混合物とした。

### 3. 2 試料の作製方法

#### 3. 2. 1 配合条件

対象としたアスファルト混合物の配合粒度は、北海道地域の一般道で主に用いられている密粒度アスコン13Fであり、再生混合率は50%とした。また、再生用添加剤の添加量は設計針入度に調整する手法により決定し、設計針入度は再生As80-100の規格値の中央値である90 (1/10mm)とした。また、再生用添加剤は表-3に示す飽和分主体のものを使用した。

#### 3. 2. 2 新規骨材

アスファルト混合物に用いる新規骨材は、石狩地区で一般に使用されている骨材とした。

#### 3. 2. 3 再生骨材

再生混合物に用いる再生骨材は、新規に作製した混合物をバットに敷きならして110℃の恒温乾燥炉にて所定の時間養生したものをを用いていた。さらに、再再生混合物に用いる再生骨材は、前述の手法で作製した再生混合物を恒温乾燥炉にて養生し劣化させたものをを用いていた。恒温乾燥炉における養生時間は、劣化後の再生骨材の旧Asの針入度が20 (1/10mm)および30 (1/10mm)となるように調整した。

以上の手法により図-3に示すように、計6条件（同一条件n=5）の混合物を作製し、圧裂試験を実施した。

#### 3. 2. 4 圧裂試験

圧裂試験には前述の検討と同様にAUTOGRAPHを用い、表-2に示す試験条件にて実施した。

### 3. 3 評価結果

試験結果を図-4に示す。再生混合物における針入度20の条件では圧裂係数の範囲が0.31~0.32MPa/mm、針入度30の条件では0.35~0.40MPa/mmとなった。また、再再生混合物においては、針入度20で0.34~0.40MPa/mm、針入度30で0.27~0.32MPa/mmとなった。

一方、再々再生混合物においては、針入度30の条件では圧裂係数が0.25~0.27MPa/mmの範囲となったが、針入度20の条件では0.39~0.45MPa/mmの範囲となり、図-1で示した0.25~0.40MPa/mmの推定範囲

から外れる値が確認された。

以上の結果より、針入度20および針入度30まで劣化した再生骨材を、設計針入度90 (1/10mm)となるように再生用添加剤を添加して作製した再生混合物、再再生混合物、および再々再生混合物の圧裂係数は0.25~0.45 (1/10mm)の範囲であることを確認した。なお、0.40MPa/mmを超える条件は、再生骨材の旧As針入度が20 (1/10mm)まで低下した材料を3サイクル再生利用した厳しい劣化履歴を受けた1条件のみであった。

## 4. プラント採取再生骨材を用いて作製した再生混合物の圧裂係数

室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数の範囲が概ね図-1より想定される0.25~0.40MPa/mmの範囲内であったことから、実際に北海道内において使用されている再生骨材を8プラントより

表-3 再生用添加剤の組成成分

飽和分	芳香族分	レジン分	アスファルテン
80.8%	18.3%	0.5%	0.4%

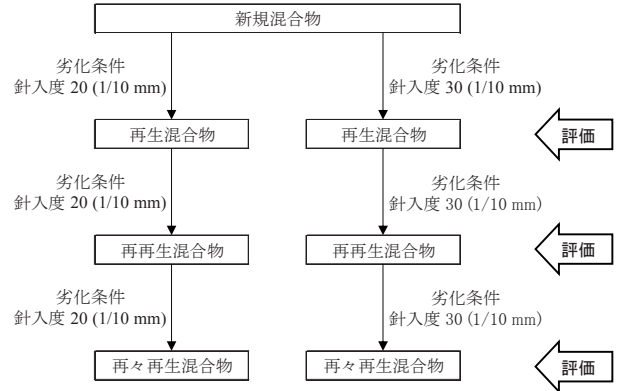


図-3 圧裂試験の評価対象

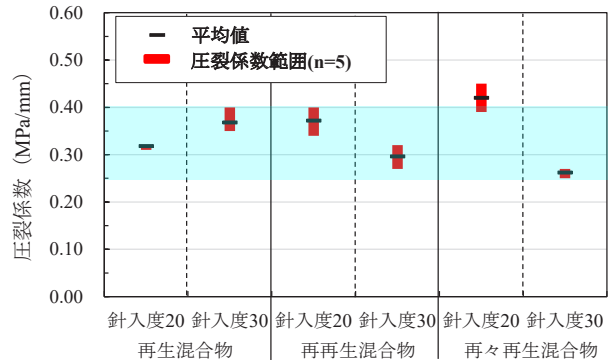


図-4 再生混合物等の圧裂係数範囲

採取し、これらを用いて再生混合物を作製し、圧裂係数を求めた。

なお、混合物の作製に用いる新規骨材および再生用添加剤も再生骨材を採取したプラントにて同時採取した。

#### 4. 1 プラント採取再生骨材の性状

表-4に北海道内のプラントより採取した再生骨材の性状を示す。なお、再生骨材の圧裂係数については2. 1. 4と同様にAUTOGRAPHを用い、表-2に示す試験条件にて実施した。

今回採取した再生骨材の旧アスファルトの針入度は17~23 (1/10mm)の範囲であり、再生骨材の品質規格値である針入度20 (1/10mm)程度であった。また、再生骨材の圧裂係数は1.58~2.38MPaの範囲であった。

#### 4. 2 再生用添加剤の性状

再生混合物の作製に使用した各プラントで使用されている再生用添加剤の組成を表-5に示す。いずれのプラントにおいても飽和分主体の再生用添加剤であった。なお、2019年度に北海道内で販売・使用されている再生用添加剤の調査を行った結果、全ての製品が飽和分主体のものであった。

#### 4. 3 再生混合物の配合条件

採取した再生骨材をそれぞれのプラントで使用されている再生用添加剤を用いて、設計針入度に調整する手法により設計針入度90 (1/10mm)の条件で添加量を決定し、再生混合物を作製した。

採取箇所a~gについては採取プラントの再生混合率にあわせて50%とし、採取箇所hについては再生混合率50%に加え、20%と30%の条件についても配合設計を行った。

#### 4. 4 再生混合物の圧裂係数

2. 1. 4と同様にAUTOGRAPHを用い表-2に示す試験条件にて圧裂試験を実施した。プラント採取再生骨材を用いた再生混合物の圧裂係数を図-5に示す。圧裂係数の範囲は0.27~0.80MPa/mmとなり、室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数の範囲と比較してばらつきが大きい結果となった。そこで、再生骨材の旧As針入度および圧裂係数に着目して以下のように分類し考察を行った。

表-4 再生骨材の性状

採取箇所名	a	b	c	d	e	f	g	h
針入度 (1/10 mm)	20	18	19	21	22	23	17	22
圧裂係数 (Mpa/mm)	2.17	2.38	2.18	2.03	1.83	1.98	2.32	1.58

表-5 再生用添加剤の性状

採取箇所名	a	b	c	d	e	f	g	h
飽和分 (%)	80.6	81.2	79.5	79.0	79.5	80.7	79.5	80.8
芳香族 (%)	16.5	15.9	19.6	15.0	19.6	18.4	19.6	18.3
レジン分 (%)	2.9	2.0	0.8	4.6	0.8	0.6	0.8	0.5
アスファルテン (%)	0.0	0.0	0.1	0.8	0.1	0.3	0.1	0.4

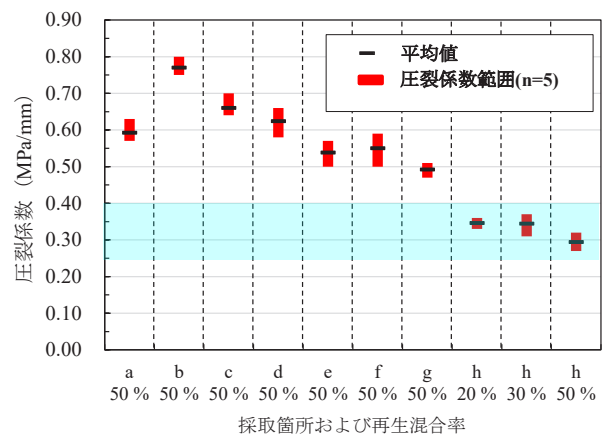


図-5 プラント採取再生骨材を用いた再生混合物の圧裂係数

#### 4. 4. 1 針入度規格・圧裂係数規格をともに満たした再生骨材

再生骨材の品質規格値である旧Asの針入度20 (1/10 mm)以上、圧裂係数が1.70MPa/mm以下を満たす採取箇所hの再生骨材を用いた再生混合物の圧裂係数の範囲は0.27~0.37MPa/mmの範囲となり、室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数の範囲と同程度となった。

#### 4. 4. 2 針入度規格のみを満たした再生骨材

再生骨材の品質規格値である旧Asの針入度20 (1/10 mm)以上のみを満たした採取箇所a、d、e、およびfの再生骨材を用いた再生混合物の圧裂係数の範囲は0.50~0.66MPa/mmの範囲となり、室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数より大きな値となった。

#### 4. 4. 3 針入度規格・圧裂係数規格をともに満たさない再生骨材

再生骨材の品質規格値である旧Asの針入度20 (1/10 mm)以上、圧裂係数が1.70MPa/mm以下をともに満たさない採取箇所b、c、およびgの再生骨材を用いた

再生混合物の圧裂係数の範囲は0.47~0.80MPa/mmの範囲となり、室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数より大きな値となった。

なお、今回採取した再生骨材において、圧裂係数の規格値のみを満たす再生骨材は存在しなかった。

#### 4. 5 再生骨材の圧裂係数と再生混合物の圧裂係数の関係

以上の試験結果より、再生骨材の圧裂係数が再生混合物の圧裂係数に影響を及ぼしている可能性が考えられるため、再生骨材の圧裂係数と再生混合物の圧裂係数の関係について整理した。

再生骨材と再生混合物の圧裂係数の関係を図-6に示す。再生骨材の圧裂係数と再生混合物の圧裂係数には正の相関が見られ、再生骨材の圧裂係数が高くなると、再生混合物の圧裂係数が高くなる傾向が確認された。また、近似式より再生骨材の圧裂係数の規格値である1.70MPa/mmを超える再生骨材を用いると再生混合物の圧裂係数が0.40MPa/mmを超える結果となった。

#### 5. 設計圧裂係数に関する考察

室内で劣化した再生骨材を用いた再生混合物等の圧裂係数の範囲は0.25~0.45MPa/mmであり、このうち0.40MPa/mmを超えた条件は、再生骨材の旧As針入度が再生骨材の旧Asの規格下限値である20(1/10mm)まで低下した材料を3サイクル再生利用する厳しい劣化履歴を受けた混合物のみであった。

北海道内のプラントより採取した再生骨材を用いて作製した再生混合物の圧裂係数を確認した結果、圧裂係数の規格値を満たす再生骨材を用いた再生混合物においては圧裂係数が0.27~0.37MPa/mmの範囲であった。一方、再生骨材の圧裂係数の規格値である1.70MPa/mm以下を外れる再生骨材を用いた場合には、再生混合物の圧裂係数が0.40MPa/mmを超える結果となった。

以上の試験結果より、北海道地域で用いられている再生As80-100において、現行の再生骨材の規格値を満たす材料を用い、圧裂係数による配合設計を行う場合には設計圧裂係数を0.25~0.40MPa/mm程度とすることが妥当と考える。また、この範囲は舗装再生便覧に示されている設計圧裂係数の設定方法による再生As80-100の推定範囲と一致する結果となっている。

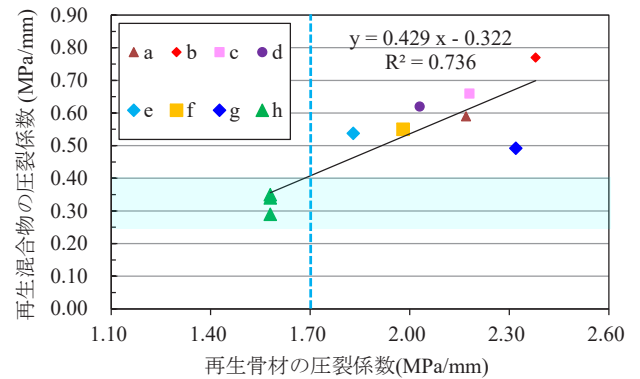


図-6 再生骨材と再生混合物の圧裂係数の関係

#### 6. まとめ

北海道地域において用いられている再生As80-100への圧裂係数を用いた配合設計手法の導入を目的に、再生混合物の配合設計時に用いる設計圧裂係数について検討を行った。本研究により得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 北海道地域において主として用いられている針入度規格80-100を用いた密粒度アスコン13Fの配合粒度においても、針入度規格40-60および60-80を用いた密粒度アスコン13と同様に、舗装再生便覧に示される針入度と圧裂係数の関係性が得られることを確認した。
- (2) 室内において恒温乾燥炉を用いて、針入度20および針入度30まで劣化させた再生骨材を作製し、設計針入度90(1/10mm)となるように再生用添加剤を添加して配合設計を行った再生混合物、再再生混合物、および再々再生混合物の圧裂係数は0.25~0.45(1/10mm)の範囲となった。
- (3) 北海道内の8プラントより採取した再生骨材を用いて再生混合物を作製し、圧裂係数を計測した結果、圧裂係数の範囲は0.27~0.80MPa/mmとなった。さらに、再生骨材の圧裂係数と再生混合物の圧裂係数の関係を整理した結果再生骨材の圧裂係数の規格値である1.70MPa/mm以下を外れる再生骨材を用いると再生混合物の圧裂係数が0.40MPa/mmを超えることが明らかになった。

以上より、北海道地域において用いられている針入度規格80-100の再生混合物は、針入度規格40-60および60-80と同様に設計圧裂係数を設定することが可能であり、北海道内で用いられている再生混合物の試験結果を踏まえると、設計圧裂係数は、0.25~0.40MPa/mm

mm程度が妥当と考える。

なお、この設計圧裂係数によって配合設計が可能となるのは、現行の再生骨材の規格値を満たす材料を用いる場合であり、今後増加すると見込まれる低品位の再生骨材については別途検討が必要である。

## 参考文献

- 1) 安倍隆二、丸山記美雄、田高淳：改質再生アスファルト混合物による耐流動対策舗装の検討、第45回北海道開発技術研究発表会、道-21、2002.
- 2) 田中俊輔、丸山記美雄、武市靖、古田智大：北海道型SMAの高耐久化と走行安全性に関する基礎的研究、土木学会論文集E1（舗装工学）、Vol.74、No.3（舗装工学論文集第23巻）、p.I\_105、2018.
- 3) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領、第5章、p.1-5-18、p.1-5-23、2020.
- 4) 金谷元、上野千草、丸山記美雄：北海道におけるアスファルト再生骨材の使用状況について、第33回日本道路会議論文集、p.3014、2019.
- 5) 社団法人日本道路協会：舗装再生便覧、2010.
- 6) 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム・材料地盤研究グループ新材料チーム、社団法人日本アスファルト合材協会：アスファルト舗装の再生利用に関する共同研究報告書、第408号、2009.



上野 千草  
UENO Chigusa

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
寒地道路保全チーム  
研究員  
技術士（建設）



井谷 雅司  
ITANI Masashi

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
寒地道路保全チーム  
研究員



丸山 記美雄  
MARUYAMA Kimio

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
寒地道路保全チーム  
上席研究員  
博士(工学)  
技術士（建設）