

## 12.5 劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究（2）

研究予算:運営交付金  
研究期間:平 18～平 21  
担当チーム:材料地盤研究グループ(新材料)  
研究担当者:西崎到、佐々木巖

### 【要旨】

近年、繰り返し再生されたアスファルトやポリマーを含むアスファルトの増加などの理由により、舗装発生材に含まれるアスファルトの針入度が低下傾向にあり、このままでは、再生アスファルト混合物に使用できる舗装発生材が減少するおそれがある。

本研究では、針入度の低い舗装発生材をより高度に利用するために、品質規定の見直しなども含む技術開発を行うことを目的として実施している。平成 21 年度は、再生利用における品質評価方法の検討として、改質材を含む劣化アスファルトの品質評価と利用方法、再生用添加剤の品質と配合の検討、および再生用添加剤の品質と舗装の性能に関する試験評価を行った。その結果、繰り返し再生されたストレートアスファルトと同様に、圧裂試験により再生骨材中の改質アスファルトの劣化度を評価できることがわかった。また、再生用添加剤の品質と再生アスファルト舗装材料の性状を実験評価し配合上の留意点を整理した。

キーワード:リサイクル、繰り返し再生、再生アスファルト、再生アスファルト混合物、再生用添加剤

### 1. はじめに

昭和60年頃に本格化した舗装のリサイクルは現在では広く浸透し、アスファルト舗装発生材の99%以上が再利用(H14年以降)されている。このため、修繕工事等で発生するアスファルト塊や路面切削材等の舗装発生材は、繰り返し再生されて劣化が進んでいることが懸念されている。

また、舗装の高耐久化、多機能化が求められる場面が増え、重交通対策や排水性舗装用等として、熱可塑性エラストマー等のポリマーを添加することにより改質されたポリマー改質アスファルトを使用する場面が増えている。これに伴い、このポリマーを含む舗装発生材も増加しつつある。改質アスファルトは、改質材として添加されるポリマーの特性から、ストレートアスファルトに比べて針入度が低い。

現在、舗装発生材からの再生加熱アスファルト混合物(以下、再生アスコン)の製造においては、発生材に含まれるアスファルトの針入度が20未満のものは劣化が著しく進行しているとされ、原則として使用できないこととなっている。しかし、上記のように、繰り返し再生されたアスファルトやポリマーを含むアスファルトが増加したことなどの理由により、この針入度が低下傾向にある。このままでは、再生アスファルト混合物に使用できる舗装発生材が減少し、再生利用率も低下するおそれがある。

本研究では、針入度が低下したアスファルト舗装発生材をより高度に再生利用するため技術を確認することを目標

に、再生材料の評価法および利用法の実験検討を実施している。劣化アスファルトを再生利用する場合に懸念される、疲労破壊性状を簡便に評価できる新たな品質評価試験方法と配合設計手法の設定を目的にこれまで試験研究を続けてきている。

平成 21 年度は、再生利用における品質評価方法の検討として、改質材を含む劣化アスファルトの品質評価と利用方法、再生用添加剤の品質と配合の検討、および再生用添加剤の品質と舗装の性能に関する試験評価を行った。

### 2. 改質材を含む劣化アスファルトの再生利用方法

#### 2. 1 検討の背景

低針入度化したアスファルトはアスファルト舗装に再生しても針入度が低くても疲労性状に劣ることが多く、早期にひび割れが発生し損傷する可能性が高いと言われている。このため、使用可否の判断基準として、再生材の混入量等にかかわらず針入度20の下限値が規定されている。旧アスファルトの針入度が20未満の場合、再生骨材はアスファルト混合物へ利用することは現時点では原則としてできない。

しかしながら、改質アスファルト混合物の発生材を使用した再生混合物は耐流動性が向上することなどが知られており、舗装再生便覧では「旧アスファルトの針入度の規格値(20以上)は、ストレートアスファルト混合物の発生材を対

象としたものであり、改質アスファルト混合物の発生材への適用の可否は確認されていない。(中略) 改質アスファルト混合物の発生材は、旧アスファルトの針入度だけで劣化の程度を評価することは難しく、旧アスファルトの針入度が20未満のものでもアスファルトコンクリート再生骨材として利用することができるものもある。」と記述されている。

このように、改質アスファルトはその改質材の効果により、針入度では評価できない性能を有する。このため、改質アスファルトの性能を適切に評価するための評価試験方法の研究が別途進められている。再生利用においては、発生材が改質アスファルト由来であるかどうか、目視により使用アスファルトの種類を判別できないことから、有効利用の支障となっている。また、改質アスファルト由来であることがわかっても、旧アスファルトの回収が困難な場合があるなど、劣化度を正しく評価できない。このため、再生骨材の利用の可否について、針入度に代わる判断手法の確立が望まれている。

## 2.2 試験の概要

本研究では、日本アスファルト合材協会との共同研究<sup>1)</sup>により、圧裂試験の適用性について実験検討を実施し、これまでに配合設計における目標値や再生用添加剤の添加量決定方法を見いだしている。

平成21年度には、この検討の継続として、圧裂試験による改質アスファルト由来の再生骨材中の劣化アスファルトの簡易な評価方法について検討した。

### 2.2.1 試験方法

再生資材の品質基準を有効に運用するためには、品質指標として用いる評価試験基準が、粒度やアスファルト量、あるいはアスファルトの種類にかかわらず、劣化度を適切に推定できる必要がある。ポリマー改質アスファルトの混入による判定結果への影響の評価として、様々な試料の圧裂試験を実施し、針入度と圧裂性状との関係を把握した。さらに、長期間の屋外暴露により劣化した試料によりその適用性を確認した。

### 2.2.2 暴露試験材料

実環境にて劣化した改質アスファルト試料は、舗装走行実験場において走行試験されていた舗装工区からの再取材、ならびに土木研究所構内暴露場に長期間暴露されていた密粒度アスファルト混合物(13)試験体である。アスファルトの種類は、製造メーカーの異なる

改質アスファルトII型である。

### 2.2.3 実験操作および評価指標

暴露試験後の供試体を破砕し再生骨材に調整したのち、圧裂試験供試体を3個ずつ作製し、その試験結果から圧裂係数を求めた。圧裂係数は、繰返し再生されたストレートアスファルトの劣化度の指標であり、室内促進劣化試験を主体とした過年度の研究から1.7以下という許容値を提案している。さらに、残りの再生骨材から溶剤を用いて劣化アスファルトを回収し、針入度試験を行った。

## 2.3 試験結果

再生骨材を加熱転圧して作製した試料の圧裂係数と、劣化アスファルトの針入度の関係を図-1に示す。改質アスファルト由来の材料は、針入度が20未満であっても圧裂係数が許容値である1.7を大きく超えることはない。しかしながら、針入度が10未満になると、圧裂指数は2.0を超えることがわかる。

昨年度までの研究により、疲労抵抗性が急激に低下する劣化レベルは、ストレートアスファルトの場合は現行基準と同じく針入度20程度であるが、改質アスファルトの場合は針入度10程度であることがわかっている。今回の実験結果は室内促進試験によるこの知見と整合しており、実環境において長期間にわたり劣化した材料についても、圧裂試験により適切に劣化評価でき、さらにこの方法は、アスファルトの種類にかかわらず同じ基準値により運用できることがわかった。

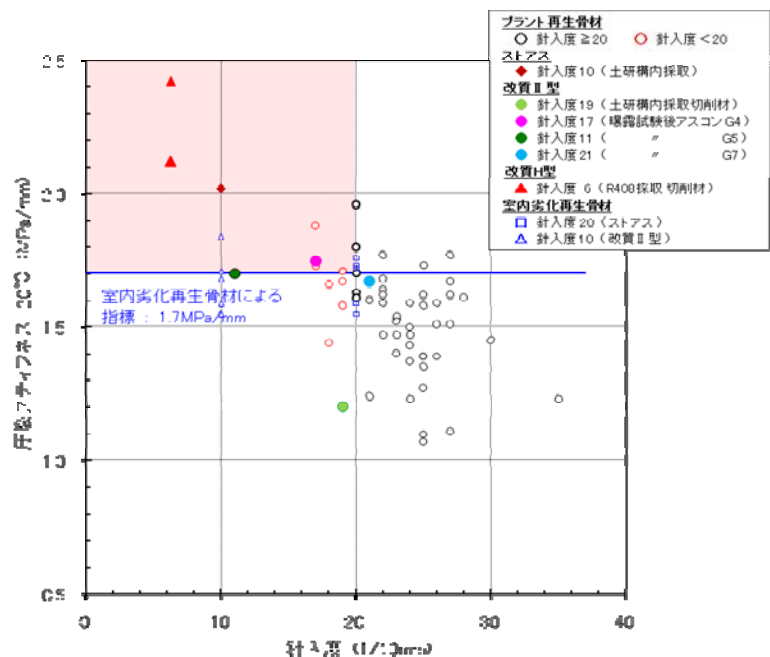


図-1 針入度と圧裂試験結果の関係

### 3. 再生用添加剤の品質と配合設計方法

#### 3.1 検討の概要

現在、再生用添加剤の品質は、「舗装設計施工指針」(社)日本道路協会)に示されているが、アスファルト混合物および舗装の性能との関連性が十分に確認できていないと言えず、規格値が定められている項目も少ない。今後、再生用添加剤の品質はますます重要になることから、まず、添加剤の品質が舗装の性能に与える影響についてよく把握する必要がある。

現在市場で調達できる再生用添加剤や軟質アスファルトについて、劣化アスファルトとの混合性、ならびに再生用添加剤の違いによる再生アスコンの性状を比較検討した。

#### 3.2 再生用添加剤の混合性評価

再生用添加剤の混合性の評価試験として、促進劣化させたアスファルトに再生用添加剤を加え攪拌混合し、上部と下部の品質の相違を試験した。

##### 3.2.1 実験方法および試験材料

表-1に示す試験材料を用いて、図-2に示す手順により実験を行った。

#### 3.2.2 実験結果

各層の針入度を測定した結果を図-3に示す。低密度の再生用添加剤Lは、再生アスファルト試料の上部あるいは表面の針入度が高く、旧アス中で均質に混合せず表面付近に浮きやすいことがわかる。なお、軟化点も同様な(試料下部の方がやや高い軟化点温度となる)結果であった。

今回の実験条件の設定は、再生アスファルトの規格級の上限および下限付近であるが、アスファルトの上部あるいは表面に再生用添加剤が集まってしまふ現象に変わりはないことから、目標針入度が50や70でも傾向は同様とみられる。

表-1 混合性評価の試験材料

材料	アスファルト 60~80	再生用添加剤:N	再生用添加剤:L
製造時期	2003	2009	2009
動粘度 60℃ mm <sup>2</sup> /s		89.2	84.4
引火点 ℃	364	232	264
密度 g/cm <sup>3</sup>	1.038	0.966	0.914
飽和分 %		63.6	77.6
芳香族分 %		32.4	17.1
レジ分 %		4.0	5.3

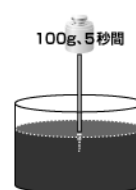
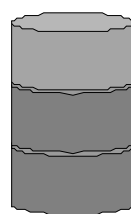
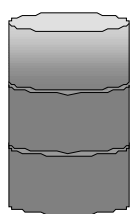
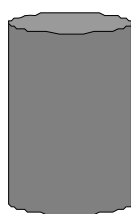
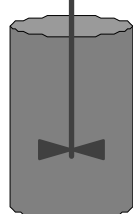
アスファルトと再生用添加剤を投入し、電動回転攪拌羽根1000rpmにより30分加熱混合

163℃にて5分保持 再生用添加剤の混合性の試験手順

放冷後、上部と下部を分割

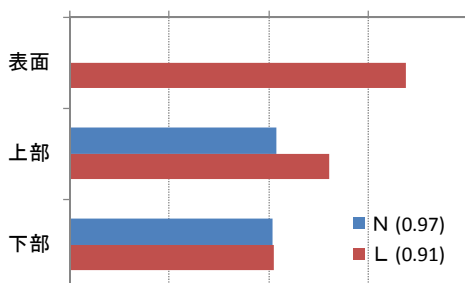
各層をよく混合

各層の針入度他試験



針入度 (1/10mm)

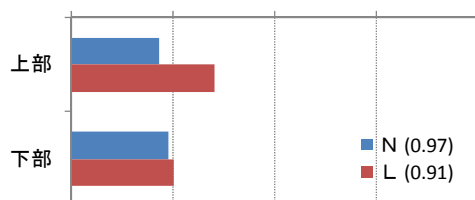
110 115 120 125 130



PAV短時間劣化: 劣化アス針入度28.1  
添加剤: 13wt%(内割混入、密度補正無し)

針入度 (1/10mm)

30 35 40 45 50



PAV長時間劣化: 劣化アス針入度11.5  
添加剤: 12wt%(内割混入、密度補正無し)

図-3 再生用添加剤の混合均質性試験結果

### 3.2.3 考察

本試験の結果から以下のことが考察できる。

#### (1) 再生用添加剤の混合均質性

再生アスコン中での挙動は、配合率、混合状態、保持時間、膜厚、ファイラーの介在などの点で本試験とは異なるが、アスファルトモルタル被膜の内部では本試験と同様に分離が生じている可能性が懸念される。再生アスファルトについては、混合能力や劣化の状態により旧アスファルト中への添加剤の溶け混みが浅くなり、混合物の物性に影響する問題が指摘されているように、新アスファルトおよび添加剤の旧アスファルトへの均質な混合性が求められる。素材分離に関しては、例えば中温化剤は皮膜の表面にあえて浮かせて粗骨材接点の滑動を良くする意図をもつ用途もあるが、再生用添加剤の場合は劣化アスの回復を意図しているため均質な混合が望まれる。添加剤の偏在は、再生アスコン中での長期間の劣化アスの再生(熟成)も期待しにくくなり、偏在の影響は重要である。

#### (2) 再生アスファルトの密度

舗装設計施工指針および再生便覧では、旧アスファルトに再生用添加剤等を混入した再生アスファルトの品質が定められている(指針付表-9.2.14)。その品質項目と規定値は新アスファルトと同一であり、密度は1.0000以上と規定されている。これは、わが国では再生アスコンの性能が新材と同等であるとして構造や路面を設計しているためである。

アスファルトの密度は、薄膜加熱質量変化率等が示されているものの、現在のアスファルトは劣化が進んでも密度はほとんど増加しない。旧アスファルトに低密度の添加剤を混入すると、再生アスファルトの密度は低下する。この影響は、低針入度化に伴う添加量の増加や、繰返し再生利用された際に、より顕著になる。わが国のアスファルト舗装材の再生利用は少なくとも既に2巡目に入っているとみられ、再生アスファルトの品質確保はより重要になっている。

過劣化材に対して添加剤を多量に混入したり、繰返し再生利用を続けた場合、アスファルトが低密度化することが懸念される。実際、再生加熱アスファルトの配合設計時に、針入度試験時に試料カップが浮いてしまうこともあり、密度が小さな再生用添加剤の影響について検討を続ける必要がある。

低密度の添加剤を加える場合には、配合時に密度補正などを行わないとアスファルト量のずれを生じる原因にもなる。とくに、圧裂試験による混合物評価が導入されると、特別に抽出回収しなければ再生アスファルトの密度は測定できず、再生アスファルト

品質の確認は困難となる。

#### (3) 配合設計における針入度試験の精度

再生アスコンの配合設計においては、再生骨材の劣化度に応じた添加剤材料を決めるために針入度試験を行う。この針入度調整のためのバインダ試験でも、今回の実験と同様のことが起きているとみられる。その結果、再生アスファルトの針入度は高めに計測されることとなり、添加剤の不足や混合不良など再生アスの品質の安定性への影響が心配される。

これらのことから、再生用添加剤の密度には一定の下限值を設けることが望ましい。

### 3.3 再生用添加剤の品質と舗装材の性状

再生用添加剤の相違による再生アスコンの性状を比較評価するため、再生用添加剤をかえて再生アスコンを作製し、それらの性状を評価するとともに、溶剤を用いて抽出回収した再生アスファルトの性状を試験した。

#### 3.3.1 実験方法

再生アスコンの性状評価は、圧裂試験を行って、疲労性状を評価できることが過年度の成果からわかっている圧裂係数を求めた。また、わだち掘れ抵抗性としての耐流動性評価であるホイールトラッキング試験を行った。

試験目的から、旧アスファルトの劣化がかなり進んだ再生骨材を使用し、添加剤量をやや多めに設定した。再生骨材は、土木研究所構内から採取し製造したものをを用いた。再生骨材配合率を60%、目標針入度を50として針入度調整を行い、添加剤ごとに配合を設定した。混合物粒度は密粒度

表-2 再生用添加剤性状

再生用添加剤	60°C粘度 mm <sup>2</sup> /s	薄膜加熱 後粘度比	引火点 °C	密度 g/cm <sup>3</sup>
A	523	1.75	328	0.9496
B	89.2	1.23	232	0.9658
C	98.0	1.12	240	0.9480
D	84.4	1.09	264	0.9141

表-3 再生骨材の性状

旧アスファルト量	旧アスファルト針入度 25°C,1/10mm	2.36mmふるい (みかき)通過率
4.63%	10	41.8%

表-4 アスファルト性状

種類	針入度 25°C,1/10mm	軟化点 °C	伸度 15°C, cm	密度 g/cm <sup>3</sup>
60/80	70	47.0	100+	1.038
軟質	388	32.0	100+	1.000以上

(13)、アスファルト量は5.8%である。また、比較のため、再生骨材のみで作製した混合物と、新規アスファルト混合物もあわせて試験した。

### 3.3.2 試験材料

再生用添加剤の性状を表-2に、再生骨材の性状を表-3に示す。再生用添加剤を使用する場合には、新アスファルトとしてストレートアスファルト 60~80 を使用した。また、低密度で軟質なオイルである再生用添加剤の影響を評価するため、針入度の大きな軟質アスファルトのみを新アスファルトとして使用した試料を用いて比較評価を行った。新アスファルトの性状を表-4に示す。

### 3.3.3 実験結果

#### (1) 圧裂試験性状

再生アスコンの圧裂係数と再生アスファルトの針入度の関係を図-4に示す。再生用添加剤が異なっても圧裂係数は一様に0.5~0.7程度の値を示した。これは針入度40/60のアスファルト混合物に相当する<sup>1)</sup>。一方、再生骨材のみの場合は、2.0以上の大きな値を示す。軟質アスファルトによる再生は、旧アスファルトの劣化が進んでいることもあり針入度は十分に回復していないものの、圧裂係数は添加剤と同程度の値を示していることがわかる。

圧裂係数と再生アスファルトの伸度の関係は、図-5に示すとおり針入度と同様な傾向であるが、新規アスコンの挙動が異なる。軟質アスファルトによる再生では伸度はかなり回復しており、針入度が多少小さくても再生アスコンの疲労性状はある程度確保できるものとみられる。

#### (2) 動的安定度

再生アスコンの動的安定度と再生アスファルトの針入度の関係を図-6に示す。再生用添加剤で再生した再生アスコンは、針入度がほぼ同程度であるにもかかわらず、動的安定度は数百(新規アスコン)から3千まで分布している。一方、軟化点との対応は、図-7に示すように、軟化点上昇にしたがって動的安定度も上昇する傾向で、その相関関係も非常によかった。

これらから、再生アスファルトの針入度級が同一であっても軟化点は大きく異なり、再生アスコンの耐流動性は一様でないことがわかった。アスファルトの再生利用においては、特に再生骨材の配合率が高い場合など再生用添加剤の影響が大きい条件においては、耐流動性を良く確認することが必要である。

#### (2) 再生アスファルトの品質と繰返し再生

今回の試験は、一回のみの再生であるが、その軟化点は再生用添加剤の品質により異なり、舗装の耐流動性にも影響しうることがわかった。

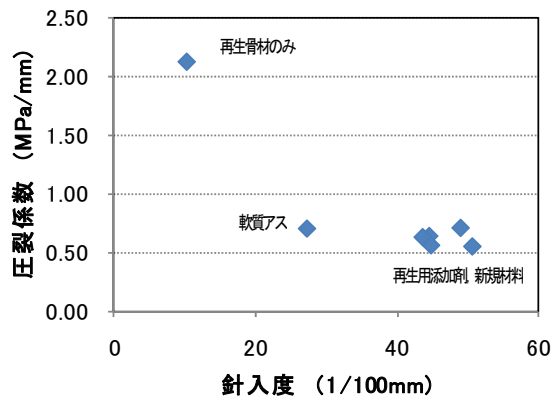


図-4 圧裂係数と再生アスファルト針入度

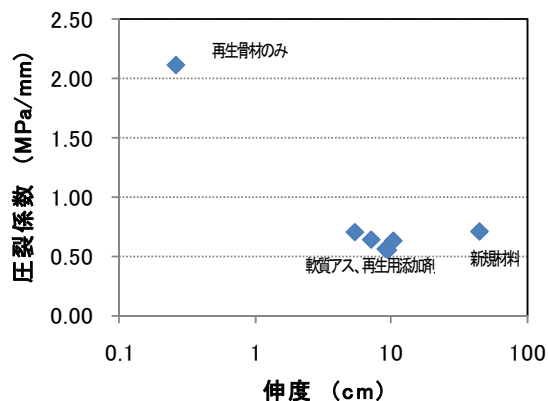


図-5 圧裂係数と再生アスファルトの伸度

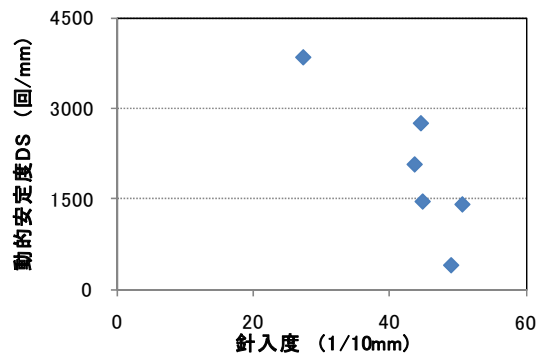


図-6 再生アスコンの耐流動性と針入度

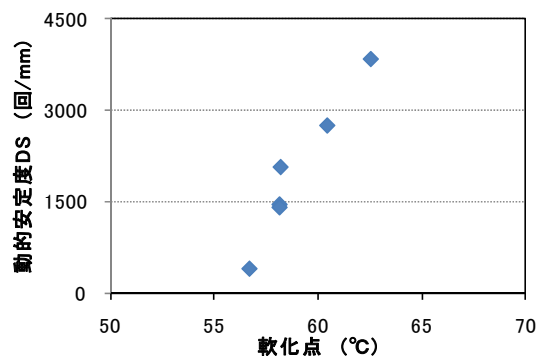


図-7 再生アスコンの耐流動性と軟化点

過年度の研究では、繰返し再生により軟化点が上昇し品質基準値を満足しなくなる<sup>2)</sup>実験ケースが多く、これは繰返し再生に関する既往の報文とも一致している。この様な劣化材をさらに再生利用しようとする場合、より低粘度の再生用添加剤を多量に使用せざるを得ないことが想定されることから、添加剤の品質および添加量の上限值などに関する許容値を検討する必要がある。

#### 4. まとめ

平成 21 年度の研究成果から次のことがわかった。今後、これらの知見を踏まえた具体的な評価方法、運用可能な利用基準等の整備と、現場への普及が必要となる。

##### (1) 改質剤を含む劣化アスファルト評価方法

- ・ポリマー改質アスファルトを含む屋外暴露材の使用可否の目安は、圧裂係数 1.7 程度、針入度 10 程度である。
- ・圧裂試験から求められる圧裂係数により、劣化材を品質評価をアスファルトの種類にかかわらず同じ基準値により運用できることがわかった。

##### (2) 再生用添加剤と劣化アスファルトの混合性

・低密度の再生用添加剤は、劣化アスファルトの表面に浮くなど混合不良となる場合がある。このため、再生用添加剤の密度には一定の下限值を設けることが望ましい。

##### (3) 再生用添加剤の品質と再生アスコンの性状

- ・針入度調整により配合設計を行った再生アスコンは、いずれも適切とされる圧裂係数を示す。
- ・再生アスファルトの針入度が同程度であっても、軟化点の値に差があることから、再生アスコンの耐流動性は大きく異なることがある。

#### 参考文献

- 1) (独) 土木研究所, (社) 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中間報告書, 平成 20 年 12 月
- 2) 加納孝志, 新田弘之, 佐々木徹, 西崎到, 久保和幸: 繰返し再生を考慮したアスファルト混合物の再生方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集 第 14 巻 2009 年 12 月

## A STUDY ON AGED ASPHALT PAVEMENT RECYCLING

**Abstract** : Recently, the penetration of asphalt concrete waste has been declining due to increase of the amount of repeatedly used asphalt and modified asphalt. It is concerned that asphalt concrete waste with favorable high penetration that can be used for the recycled asphalt will decrease in the future. In this research, the asphalt concrete recycling technology is developed including the revision of the material standard for more advanced reuse of low penetration asphalt concrete. In fiscal year 2008, the evaluation methods of aged asphalt pavement waste and rejuvenate additives for the recycle were examined. As a result, the possibility of the evaluation method using indirect tensile testing was found in the quality evaluation of the asphalt waste. It is necessary that evaluation methods for rejuvenate additives in order to establish a sustainable asphalt recycling system.

**Key words:** recycle, repeated recycling, recycled asphalt mixture, recycled asphalt, rejuvenator