

◆特集：循環型社会における建設リサイクルの取り組み◆

改質アスファルトのリサイクル技術に関する検討

新田弘之* 伊藤正秀**

1. はじめに

現在、アスファルト舗装はほとんど全てリサイクルされるようになっており、アスファルトコンクリート塊の再生資源化等率は98%（2000年、旧建設省建設副産物実態調査）と高い数値となっている。一方、近年では、耐流動性対策や排水性舗装のようにバインダとして改質アスファルト（以下、改質アス）を使用した舗装が増えている。この改質アスは、通常の舗装で用いられるストレートアスファルト（以下、ストアス）に熱可塑性エラストマー等の改質材を混ぜ、耐流動性や骨

材飛散抵抗性の向上を図ったものであるが、この成分の劣化などによる性状変化がリサイクル時にどのように混合物性状へ影響するのかが不明であり、リサイクル方法が確立していない。今後、改質アスを含むアスファルトコンクリート塊が増加することが予想され、再生資源化等率の低下を招かないためにも、改質アスのリサイクル方法の確立が急がれている。

そこで、本報では、改質アスのリサイクル上の課題と検討状況について整理すると共に、土木研究所でこれまでに実施した検討結果について一部を報告する。

表-1 改質アスのアスファルト混合物へ再利用する場合の課題と検討状況

材料、再生タイプ		各工程における課題		
旧材	再生材	切削、ストック	配合設計、プラント混合	供用性
密粒・粗粒ストアス混合物	改質アス混合物	-	添加物などの性状が未定	施工例あり 今後の追跡調査が必要
	排水性混合物	-	品質のバラツキ大の可能性 再生骨材まわりのアスの性状不足	耐久性低下 骨材把握力不足 性能低下 空隙の低下 試験施工検討中 追跡調査が必要
密粒・粗粒改質アス混合物	密粒・粗粒アス混合物（改質アス混合物含む）	-	ストアスと改質アスの判別が困難 抽出回収法が未確立 再生骨材中の旧アスが改質アスであるかは容易な判断不可 旧アスの評価法が未確立 旧アスの性状範囲が不明 改質アスに適した再生添加剤が未開発	施工例あり 多くの場合、問題がないと見られている。 ただし、今後の追跡調査は必要。
	排水性混合物	-	ストアス混合物の場合と同じ	同左
排水性混合物	密粒・粗粒アス混合物	ストックヤードで局所的な粒度の変化	旧アスの評価法が未確立 抽出回収法が未確立 旧アスの性状範囲が不明 粒度分布が大きく変化する可能性 再生混合物の粒度に影響	平たん性などの低下 局部的に粘度が高くなることと、湿度の分布がきやすい可能性があるため、平たん性の低下などの影響が懸念
	排水性混合物	切削時に細粒化 切削機の歯により細粒化 冬期や夜間にアスコンが硬化し細粒化 切削時に異なるアスコン種が混合 表層と基層の同時切削により、異なるアスコン種が混合 ストックヤードで分別保管が困難 プラントのストックヤード不足	設計法が未確立 添加剤の効果が不明 添加剤の混合状態が不明 室内配合とプラント混合での状態に差 旧アスの評価法が未確立 抽出回収法が未確立 旧アスの性状範囲が不明 再生材と新材まわりのアス膜厚に差 再生材のまわりの旧アスの上に新アスがコートされ、再生材まわりだけ膜厚過多 再生プラントの型式 再生材まわりのアスが高粘度アスのため、間接加熱混合式では不適（新材を非常に高温にしなくてはならず、不可能）	低騒音性能の低下 細粒分増加による空隙率の減少 混合物の温度ムラによるテクスチャーの悪化 部分的な低性状による骨材飛散 基層由来の再生骨材付近の骨材把握力の不足 再生材まわりの膜厚過多による早期性状低下 再生材まわりのアスファルト膜厚過多により空隙詰まりの早期進行 新材まわりの膜厚不足による骨材飛散 ダレ試験によりアス量決定すると新材まわりのアス被膜が十分でなく、骨材把握力が不足 施工例あり 今後の追跡調査が必要

※表中では、アスファルトをアスと略している。

2. 改質アスの再生利用における課題

改質アスの再生に関する課題を表-1に整理した。ここで、旧材とは、再生利用される前の状態を指し、再生材とは、再生利用の状態を指す。また、改質アスのリサイクルといえは、改質アスを含む旧材を再生利用するとを指すが、ストアスを含む旧材を耐流動性舗装や排水性舗装へと再生する検討も一部では試みられているので、この表にはこれを含めている。

全体を総括すると、改質アス共通の課題、旧材が密粒・粗粒系の混合物である場合の課題、旧材が排水性混合物である場合の課題、と大きく3つに分類される。

(1) 改質アス共通の課題

アスファルト塊を再生アスファルト混合物として利用する場合は、基本的にアスファルト塊に付着している旧アスファルトを抽出回収して性状を調べ、新アスファルトと同等の性状に戻るよう再生添加剤を添加するなどして混合物を製造する。しかし、改質アスの場合、抽出回収技術が確立されておらず、これをどうするのが大きな課題となっている。

(2) 旧材が密粒・粗粒系の混合物の場合の課題

旧材が密粒・粗粒系の場合、再生材がまた密粒・粗粒系の混合物であれば、これまでの研究や試験施工により再生は可能と見られている。この場合、抽出回収の課題も含め、旧材の性状をどのように評価していくかが課題となる。また、最近では排水性舗装の施工量が増えているため、再生骨材を排水性混合物に利用する検討も試みられている。しかし、排水性混合物は特に粘度の高い改質アスを使用しなければならず、通常の再生骨材では十分にこの性状にするのは難しく、実現にはまだ多くの課題がある。

(3) 旧材が排水性混合物の場合の課題

最近では排水性混合物を排水性混合物に再生する方法について検討が盛んであるが、排水性舗装の場合、粗骨材の比率を非常に多くしなければならない。このため、切削機で切削したもので細粒化が進んだものはアスファルト性状が良かったとしても骨材粒度が排水性舗装に向いたものにならず、再生利用が困難となる。その他、改質アスを再生するのに向いた再生添加剤の開発なども必要となっている。

3. 土木研究所におけるこれまでの取り組み

土木研究所においては、これまで改質アスを含む旧材の再生利用について検討してきた。

まず、旧材が密粒・粗粒系の改質アス混合物の

場合についてであるが、密粒・粗粒系混合物への利用については、土木技術資料ですでに報告¹⁾している。すなわち、利用可能であること、耐流動性の向上が期待できるが、耐ひび割れ性が低下する傾向が見られ、通常の再利用法では30%程度の混入率まで利用可能という結果が得られている。

改質アス共通の課題および旧材が排水性混合物の場合の課題についても検討を行っており、結果については、以下の4, 5で報告する。

4. 再生骨材の性状把握に関する検討

改質アス共通の課題である、抽出回収に関する課題について検討を行った。内容としては、改質アスを含む再生骨材の場合に、通常と同じ方法で抽出回収できるか、また、抽出回収により改質アスを含んでいる再生骨材であるかを判別できるかどうかについて検討を行った。

4.1 抽出回収の検討

再生骨材は、配合設計する際に、付着しているアスファルトを抽出回収して、性状を測定して配合設計を行っている。そこで、通常実施するアブソン抽出・回収が、改質アス再生骨材にも適用できるかどうかについて検討を行った。改質アスは、メーカー、グレード等の異なる10種類（I型：2種類、II型：4種類、高粘度：4種類）を用いた。実験では、混合物からの抽出・回収を行い性状測定するとともに、混合物作製時の影響を除くためにアスファルトのみで抽出・回収を行ったものも性状測定した。

表-2に骨材抽出率の結果を示す。ろ過時のフィルター分の損失により100%未満になるものやアスファルトが骨材に付着して抽出が不十分になり100%を超えるものがでた。特に改質II型のB-1～4と高粘度改質のC-1は目視でもアスファルト分が骨材表面に付着しており、トリクロロエチレンを用いたアブソン抽出では改質アスが完全に抽出できないことが分かった。

回収した改質アスの性状を測定した針入度を図-1に示す。加熱劣化を与えていない原アスファルトを回収したのもも性状の変化が見られる。この他の性状も変化があり、再生骨材から回収した改質アスは抽出回収の課程で性状変化を起こしている可能性があることがわかった。

以上のことより、改質アスは完全な抽出回収が難しく、不規則な性状変化も見られたため、改質アスの性状を抽出回収により正確に把握することは難しいことが分かった。

4.2 再生骨材の判別

再生骨材に含まれる旧アスファルトが改質アス

表-2 骨材抽出率

試料名		骨材抽出率 (%)	アスファルト付着有無
改質Ⅰ型	A-1	99.79	なし
	A-2	99.52	なし
改質Ⅱ型	B-1	100.06	有り
	B-2	100.1	有り
	B-3	100.44	有り
	B-4	100.03	有り
高粘度改質	C-1	100.51	有り
	C-2	99.7	なし
	C-3	99.76	なし
	C-4	99.6	なし

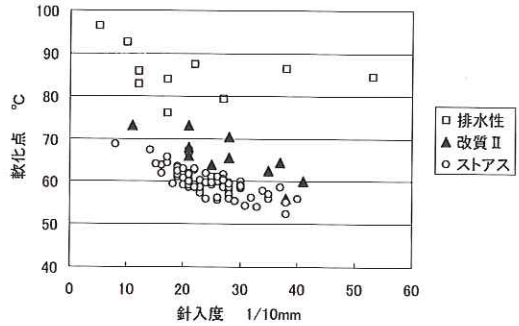


図-2 各種回収アスファルトの針入度・軟化点の関係

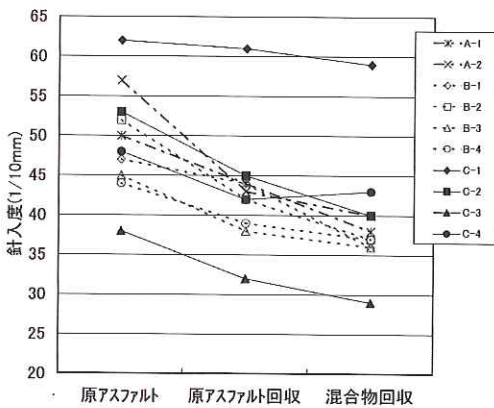


図-1 針入度

かストアスかが分かれば、それぞれの性状に合わせた利用法が可能となるが、密粒系である場合、使われているのが改質アスであるのかストアスであるのか、容易には分からない。そこで、再生骨材中に含まれる旧アスファルトの種類（ストアス、改質アス）を抽出回収したアスファルト性状から判別する方法について検討を行った。

まず、文献や過去の調査などから回収アスファルトのデータを収集した。収集したデータは図-1のような分布であった。判別分析を行うに当たって、①ストアスと改質アス（Ⅱ型）の判別、②ストアスと改質アス（Ⅱ型+高粘度）の判別の二種類とし、説明変数は針入度と軟化点とした。判別の結果を表-3, 4に示す。この結果から、いずれの場合でも高い判別率を示している。

改質アスを考慮して再生利用しようとする場合、改質アスの一部をストアスと誤判する場合よりも、ストアスの一部を改質アスと誤判の方が危険である。このことを考慮すると、表-4では、ストアスを改質アスと誤判したものがなく、表-3の結果よりも優れていた。

以上の結果より、改質アスとして改質Ⅱ型、高

表-3 ストアスと改質Ⅱ型からの判別

真の群		判別された群	
		改質Ⅱ型	ストアス
改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	11	5
	ストアス	4	74
		判別率	
		90.4%	

※判別式： $z=0.4653 \times (\text{針入度}) + 0.9580 \times (\text{軟化点}) - 71.4342$

表-4 ストアスと改質（Ⅱ型、高粘度）からの判別

真の群		判別された群	
		改質	ストアス
ストアス	改質	20	9
	ストアス	0	78
		判別率	
		91.6%	

※判別式： $z=0.1894 \times (\text{針入度}) + 0.4078 \times (\text{軟化点}) - 31.7011$

粘度改質の両方のデータを用いた判別式（針入度と軟化点の式）により、ストアスと改質アスは容易に判別可能であることが分かった。

5. 再生排水性舗装に関する検討

排水性舗装を排水性舗装に再生する方法が求められている。この際の配合設計について検討するとともに、再生骨材中に他の再生骨材が混入した場合の排水性舗装性状への影響を調査した。さらに、土木研究所舗装走行実験場内で試験施工を行い、耐久性について調査した。

5.1 配合設計に関する課題

5.1.1 配合設計法の検討

排水性舗装からの再生骨材を排水性舗装に利用する場合の配合設計方法について検討を行った。方法としては、最適アスファルト量の求め方を2種類とし、混合物の性状調査を行った。配合設計における最適アスファルト量の求め方は次の2つとした。

配合設計①：再生骨材のアスファルトモルタルを除去しないままダレ試験により最適アスファルト量を求める方法

配合設計②：再生骨材のアスファルトモルタルを除去して新材のときと同じ方法で最適アスファルト量を求める方法

なお、ダレ試験とは、排水性混合物が高温時に静的状態で保持しうる最大アスファルト量を求めるためのもので、排水性混合物の配合設計に一般的に行われている方法である。本試験性状が劣ると、合材運搬時に荷台に付着する、アスファルト膜厚が安定せず性状がばらつくなどの影響が出るものである。

配合設計の違いにより、最適アスファルト量が異なり、配合設計①では再生骨材混入率30%で4.7%、50%で4.5%、配合設計②ではいずれの場合も4.9%となった。配合設計②は骨材の周りのアスファルト被膜の厚さが一定と仮定されており、破碎がないために新材と再生材で粒度分布が変わらない今回の条件では、再生骨材混入率によらない。これに対し、配合設計①は、再生骨材の旧アスファルトの上に新アスファルトが被覆する形になっていることを反映し、再生骨材混入率により最適アスファルト量に変化したものと考えられる。

排水性混合物の代表的な性状を図-3～5に示す。ホイールトラッキング試験の結果より、粗骨材のかみ合わせなどの効果により、いずれの場合も動的安定度が高く、再生骨材の使用で耐流動性には問題がないことが分かった。曲げ試験の結果にも特に影響が見られず、耐ひび割れ性にも大きな影響はないと考えられた。しかし、カンタプロ試験の結果では、アスファルト量が少ない配合設計①の損失量が大きくなっており、骨材飛散抵抗性が劣る傾向を示した。

一方、配合設計②は直接ダレ試験を行わずにアスファルト量を求めているので、ダレが懸念された。そこで、配合設計②でダレ試験を行った。結果を図-6に示す。再生骨材混入率が高くなるとダレ率が上がり、ダレが懸念される結果となった。

以上の結果より、再生骨材を使った排水性舗装は技術的に可能と考えられるが、最適な配合設計についてはさらに検討が必要と考えられた。すなわち、アスファルト合材運搬時のアスファルトのダレの問題と骨材飛散の問題の両立ができる配合設計法が必要と考えられた。設計法の最適化はできていないが、今回の結果からいずれの配合設計法でも再生骨材混入率50%ではダレ・飛散ともに厳しく、30%でも両立するには工夫が必要と考えられた。従って、再生骨材混入率は30%以下とすることが必要と考えられた。

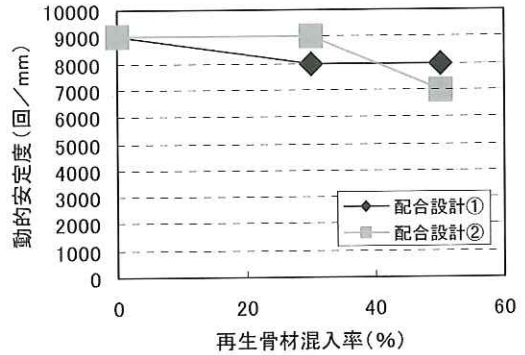


図-3 ホイールトラッキング試験の結果

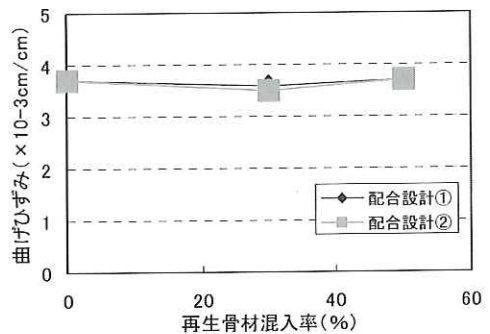


図-4 曲げ試験の結果

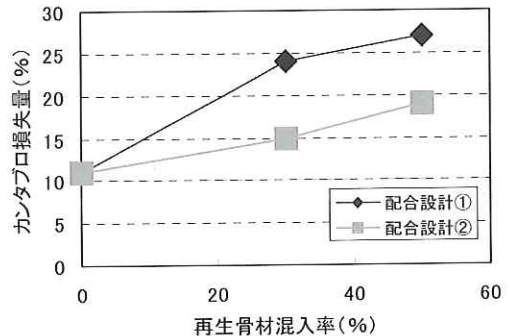


図-5 カンタプロ試験の結果

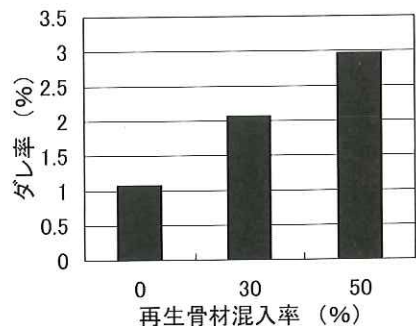


図-6 配合設計②のときのダレ率

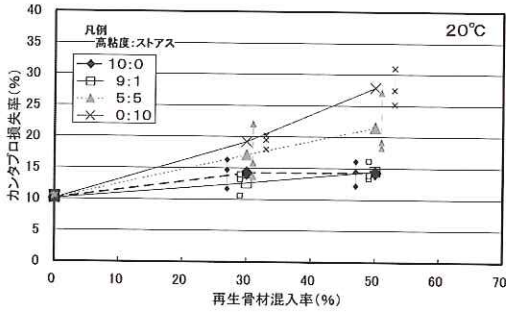


図-7 カンタブロ試験の結果

5.1.2 再生骨材の性状のバラツキが再生排水性混合物に与える影響

再生骨材の排水性混合物への適用については、排水性舗装からの再生骨材であれば可能性が高いことは4.1.1の検討で分かった。しかし、実際再生プラントで製造する場合、ストアスを含む再生骨材が混入する可能性が高いことから、これらの混入による再生排水性混合物への影響を検討した。

高粘度改質アスをを用いた排水性混合物から製造した再生骨材 (図中：高粘度) とストアスを用いた排水性混合物から製造した再生骨材 (図中：ストアス) の比率と再生骨材の混入率を変えて試験した結果を図-7に示す。再生骨材混入率が高くなると混合物性状のバラツキが一様に大きくなり、特にストアスが混入した場合に顕著であった。

以上の結果から、高粘度改質アス再生骨材にストアス再生骨材が混入した場合、再生骨材混入率が50%のときで、カンタブロ損失量が最大で12%～31%と大きな変動が発生する可能性があり、非常に危険であることが分かった。混入率30%のときはカンタブロ損失量が11%～22%の変動であるため、4.1.1の検討同様に、再生骨材混入率は30%以下とすることが必要と考えられた。

5.2 試験舗装および耐久性調査

土木研究所構内で発生した排水性再生骨材を用いて改質再生混合物 (排水性混合物から密粒度混合物、排水性混合物から排水性混合物) の試験舗装を行った。排水性再生骨材としては、約3年経過した排水性舗装を切削したものを用いた。施工後は、大型車両を用いた促進載荷試験を行い、耐久性の調査を行った。大型車両の走行は、49kN換算輪数で57万輪まで行った。

試験施工は、表-5に示すような配合の混合物を用いた。比較工区はストアスを用いた密粒度混合物 (13mmTop) および高粘度改質アスを用いた排水性混合物 (13mmTop、空隙率20%)とした。改質再生混合物は、排水性舗装からの再生骨材を用い、ストアスで再生した再生高粘度密粒混

表-5 骨材配合割合 (旧アスファルト含む)

	密粒	再生高粘度密粒	排水性	再生排水性
アスファルト量%	5.7	5.6	4.8	4.5
新材	6号碎石	4.9	37.0	85.0
	7号碎石	10.9	17.0	-
	粗目砂	24.5	26.0	10.0
	細目砂	7.8	15.0	-
	石粉	2.0	5.0	5.0
再生骨材	-	50.0	-	30.0

合物 (13mmTop、再生材50%使用)、高粘度改質アスで再生した再生排水性混合物 (13mmTop、空隙率20%、再生材30%使用) とした。

促進載荷試験における路面性状の一部を図-8～10に示す。いずれの工区でもひび割れは見られなかった。横断凹凸量は、ストアスによる密粒舗装では、非常に大きな値となり、流動わだち掘れの進行が確認されたが、その他の工区では急激な増大はみられなかった。特に再生高粘度密粒舗装では、ストアスで再生したが、高粘度改質アスの残存効果により、耐流動性の向上が見られた。縦断凹凸量は、密粒舗装工区では、横断凹凸量が大きく変化したこともあり、大きな変動を示したが、他の工区は問題のないレベルであった。排水性舗装では、空隙の低下も大きな機能低下を招くので、現場透水量の測定を行った。目標空隙率は、いずれも20%であったが、再生排水性舗装では、施工直後から若干低い値を示しており、その後も新材のみの排水性舗装よりも低い値をとっている。これは、再生骨材中の細粒分のために、空隙が小さくなり、空隙がつぶれるのが早かったためと考えられる。舗装走行実験場では、土砂等の流入が少なく、通常現場で起こる土砂等による空隙つまりが発生しにくい。このため、新材と再生材の性状の違いは、空隙つぶれによるものと考えられた。ブレーキングやハンドル据えきりに対する耐久性については実道での試験施工などから判断したい。

以上の結果より、排水性混合物の再生の可能性は高く、密粒舗装などへの再利用では、再生骨材混入率50%程度まで使用でき、改質材の影響により耐流動性の向上がみられた。排水性舗装への再利用では、透水能力の若干の低下が見られたが、その他の性状は極端に低下することはなく、再生骨材混入率30%程度であれば、再生利用の可能性が高いことが分かった。

6. まとめ

本研究により、以下のことが分かった。

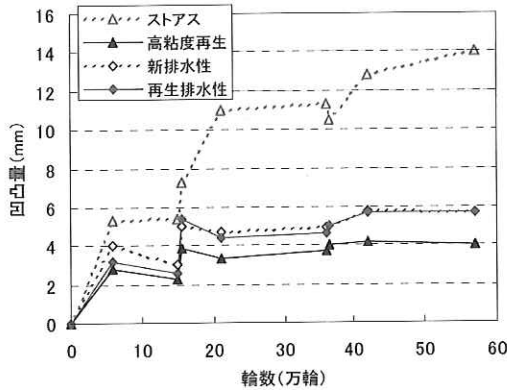


図-8 横断凹凸量の変化

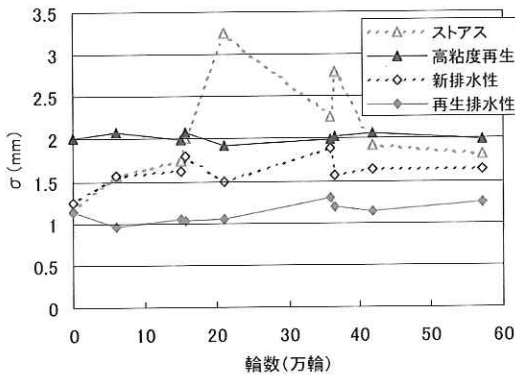


図-9 縦断凹凸量 (σ) の変化

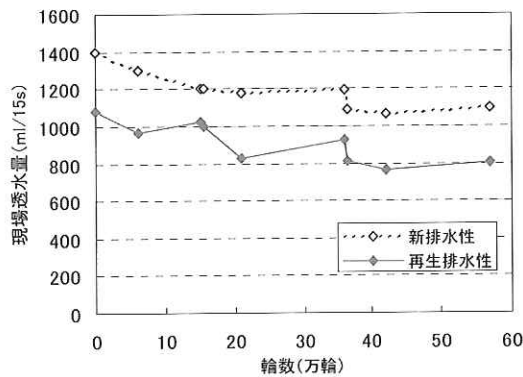


図-10 現場透水量の変化

①再生骨材中の改質アスの性状は、抽出回収から正確に把握することは困難であった。しかし、ある程度誤差の大きいと考えられる針入度と軟化点からでも下の式を用いることで改質アスとストアスの判別が容易に行えた。

$$\text{判別式: } z = 0.1894 \times (\text{針入度}) + 0.4078 \times (\text{軟化点}) - 31.7011$$

②再生排水性混合物では、再生骨材のまわりのア

スファルト被膜が厚くなり、アスファルトがダレやすくなり、ダレを抑えると骨材飛散抵抗性が下がった。この影響を小さくするために、再生骨材混入量は30%以下に抑える必要があることが分かった。

- ③既設の排水性舗装を表層と基層を同時に切削した場合、その再生骨材で再生排水性混合物を製造すると性状のバラツキが大きくなる。バラツキを小さくするためには、再生骨材混入率を30%以下に抑える必要があることが分かった。
- ④試験施工の結果、排水性混合物の再生利用は可能と考えられた。特に密粒舗装への利用では、改質材の残存効果により通常密粒舗装より高い耐流動性を示すなど良好な性状であった。しかし、排水性舗装への利用では、通常排水性舗装と比較して透水能力が劣る面もあり、今後さらに調査が必要である。

7. おわりに

現在、土木研究所と連動して地方整備局でも排水性舗装の再生についての検討が行われている。排水性舗装から排水性舗装への再利用については、試験施工も始まっている。排水性舗装からアスファルト安定処理材、普通表層混合物への再利用については、アスファルト安定処理で混入率50%程度まで可能、表層用混合物への再利用では30%程度まで可能との結果も得ている。普通再生骨材の排水性舗装への再利用についても検討が始まっており、今後成果が期待される。

今後、改質アスファルトのリサイクル方法を確立していく上で、試験施工などが不可欠であり、これらの成果も生かし、改質アスの再生利用方法の確立を目指していきたい。

参考文献

- 1) 新田弘之、吉田 武、寺田 剛：改質アスファルト再生骨材を使った再生混合物の性状，土木技術資料，43 (6)，2001

新田弘之*



独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
舗装チーム主任研究員
Hiroyuki NITTA

伊藤正秀**



独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
舗装チーム上席研究員
Masahide ITO