

再生骨材混入率を高めたポーラス アスファルト舗装の再生技術に関する研究

西島克治¹・東 滋夫²・綿谷 茂³・羽入昭吉⁴・稲 宗治⁵

¹ 正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

² 正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

³ 非会員 ニチレキ株式会社 技術研究所 (〒329-0412 栃木県下野市柴 272)

⁴ 正会員 博 (工) ニチレキ株式会社 技術部 (〒102-8222 東京都千代田区九段北 4-3-29)

⁵ 非会員 日工株式会社 技術製造本部 (〒674-8585 兵庫県明石市大久保町江井島 1013-1)

排水機能を有するポーラスアスファルト舗装は、初期に構築されたものは供用後約20年が経過しようとしており、間もなく一気に更新時期が訪れることが予想される。このことから、再生技術の確立が急務であるとともに、発生した切削材は一度に大量に再利用できることが望まれる。そこで、これまでよりも再生骨材混入率を高めることを目的として再生骨材の製造過程において過熱蒸気解砕技術を適用した結果、机上の粒度合成における混入率は90%程度まで高められることがわかった。しかし、再生骨材を大量に混入させた場合、旧アスファルトを良質に再生することが困難となる。この問題を解決するために、再生骨材混入率が20~80%の範囲において改善可能な再生用バインダの開発を行い、良好な再生混合物性状が得られることを確認した。

Key Words: porous asphalt pavement, superheat steam crushing technology, recycling agent, polymer modified asphalt for recycling

1. はじめに

排水機能を有するポーラスアスファルト（以下、ポーラス As という）舗装は、走行安全性の向上や道路交通騒音の低減効果等の特長を有していることから、高速道路、国道および都道府県道の主要幹線道路等において、年々施工実績が増加してきている。しかし、初期に施工された箇所は既に供用 20 年近くが経過しており、近い将来、一気に更新時期が訪れるものと推察される。

したがって、ポーラス As 舗装から発生する切削材の再生技術の確立が急務であるとともに、再生資源の有効活用の観点から、発生した切削材は一度に大量に再利用できることが望ましい。

プラント再生工法において、従来方式である機械破碎により発生材を再生骨材化した場合の問題点は次のとおりである。

- ①抽出粒度が安定しないうえ、クラッシングにより再生骨材が細粒化する¹⁾²⁾。
- ②再生アスファルトプラントのドライヤ加熱時に、ドラム内にモルタル分が付着する³⁾⁴⁾。また、ポーラス As 再生骨材の場合、旧アスファルト中に含まれるポリマ

ー成分の影響でドライヤ加熱時における臭気⁵⁾の発生は、ストレートアスファルトを用いた再生骨材よりも高まる。

これらのことから、一般に再生骨材混入率は 30%程度が限界とされている⁶⁾。

そこで、再生骨材の抽出粒度の安定化ならびに高混入率化を目的として、機械破碎に代わる方法として過熱蒸気解砕技術を活用することを試み、当該技術によるポーラス As 再生骨材の製造実験、再生骨材の性状確認試験を実施した。その結果、過熱蒸気解砕により製造された再生骨材は、当初目標に対して十分満足できる性状が得られた。

ポーラス As 再生骨材中の旧アスファルトには、通常ポリマー改質アスファルト H 型（以下、改質 H 型という）が用いられている。これを良質に再生する手法は確立されておらず、今後の課題とされている⁷⁾。そこで、この問題を解決するために、再生骨材混入率が 20~80%程度までの広い範囲で適用可能な再生ポーラス As 混合物用バインダ（以下、再生用バインダという）を開発し、その評価を行った結果、室内試験レベルで実用化の可能性を見出すことができた。



写真-1 過熱蒸気解砕装置

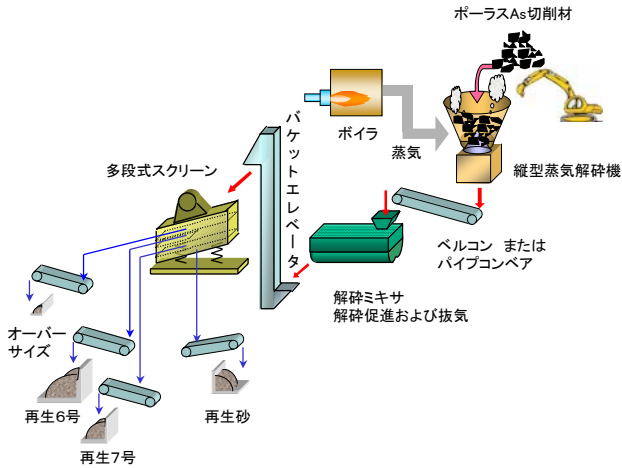


図-1 過熱蒸気解砕による再生骨材製造フロー

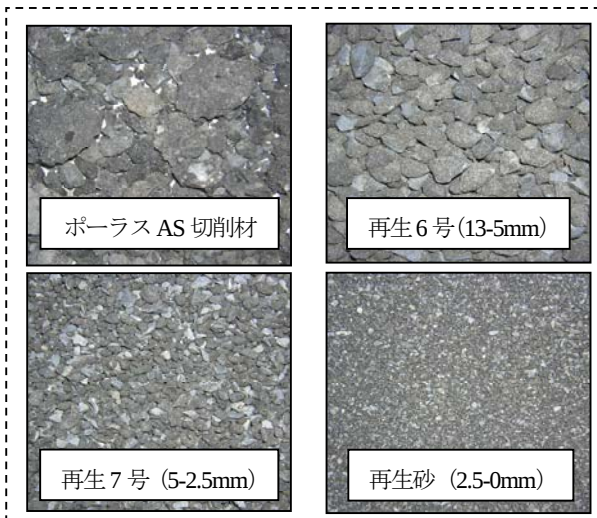


写真-2 ポーラス As 切削材および過熱蒸気解砕後の再生骨材

以下には、過熱蒸気解砕による再生骨材化に関する実験結果、開発した再生用バインダの概要および性能評価結果について報告する。

2. 過熱蒸気解砕技術

(1) 概要

過熱蒸気解砕とは、100℃の水蒸気を過熱蒸気発生装置内に送り込み、さらに300℃程度に過熱した蒸気により解砕および分級を行う技術である。過熱蒸気解砕装置を写

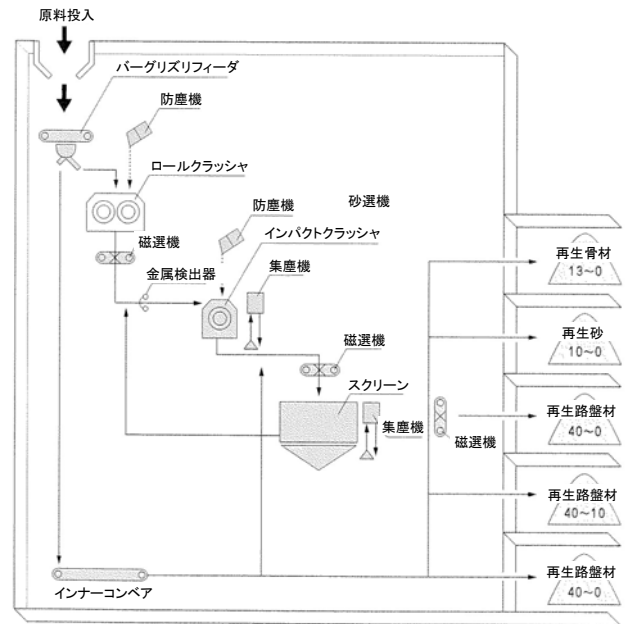


図-2 機械破砕による再生骨材製造フロー

表-1 各解砕後のアスファルト性状試験結果

配合名称	針入度 (1/10mm)	軟化点 (℃)	伸度 (cm)
機械破砕	23	65.0	10
過熱蒸気解砕	23	66.0	10
排水性切削材	24	67.0	10

真-1 に、本解砕技術による再生骨材製造フローを図-1 に示す。過熱蒸気解砕により、ポラス As 切削材は 13-5 (再生 6 号)、5-2.5 (再生 7 号)、2.5-0mm (再生砂) に分級される (写真-2)。

(2) 従来方式 (機械破砕) との比較

過熱蒸気解砕技術の優位性を確認するために、従来方式である機械破砕による方法との比較検討を行った。

a) 機械破砕技術の概要

機械破砕とは、一般に図-2 に示すように切削材をローラクラッシャにより一次破砕を行い、その後、インパクトクラッシャにより破砕し、スクリーンにより 13-0mm の骨材を搬出するものである。

b) 旧アスファルトの性状比較

過熱蒸気解砕後および機械破砕後の再生骨材から抽出したアスファルトについて性状確認試験を行った。

その結果、ポラス As 切削材と比べて、過熱蒸気解砕後および機械破砕後のいずれの抽出アスファルトにおいても同等の性状値を示していた。このことから、過熱蒸気解砕、機械破砕方式ともにアスファルトの劣化はないことが確認された (表-1)。

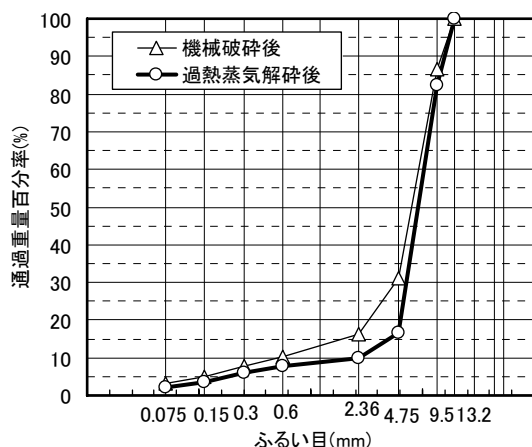


図-3 粒度区分 13-5mm の粒度

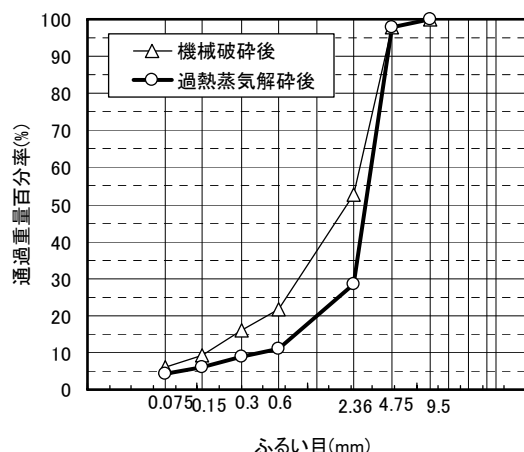


図-4 粒度区分 5-2.5mm の粒度

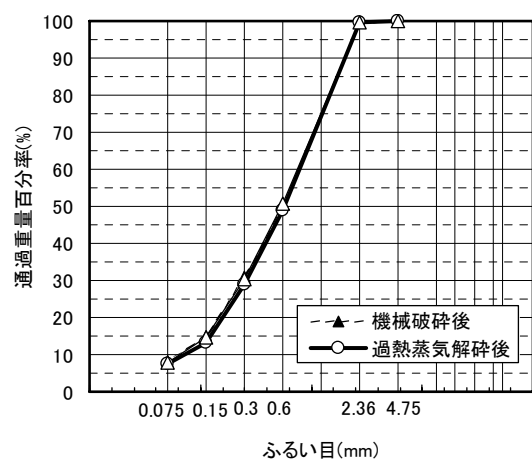


図-5 粒度区分 2.5-0mm の粒度

c) 抽出後の粒度比較

機械破碎および過熱蒸気解砕を行った後の各粒度区分(13-5, 5-2.5, 2.5-0mm)における, アスファルト抽出後の粒度分布を図-3~5に示す. 過熱蒸気解砕は機械破碎に比べて, 13-5mm の残留分で15%程度(図-3), 5-2.5mm の残留分で23%程度(図-4)増加していることから, 過熱蒸気解砕により細粒分の分級効果が高まることが窺える. なお, 粒度区分 2.5-0mm においては, 機械破碎, 過熱蒸気解砕ともほぼ同じ粒度となっている(図-5).

表-2 ポーラス As 混合物の配合例 (中央粒度目標)

骨材の種類		機械破碎 配合率(%)	50	過熱蒸気解砕 配合率(%)	90
再生骨材	13-5mm	47.5		86.4	
	5-2.5mm	0.5		2.7	
	細粒分	2.0		0.9	
新材	6号碎石	46.0	50	6.0	10
	砕砂	0.0		0.0	
	石粉	4.0		4.0	



写真-3 ガスクロマトグラフ

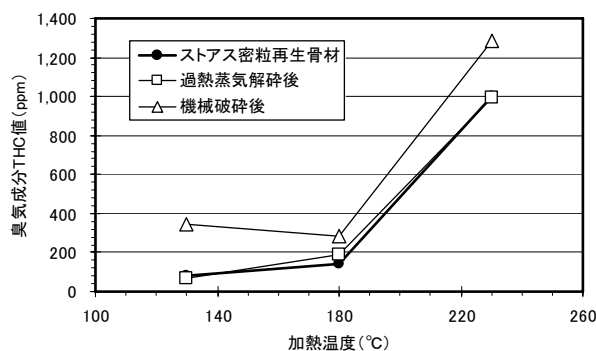


図-6 臭気成分 THC 値測定結果

また, 表-2 に示すように, ポーラス As 混合物の標準粒度範囲⁹⁾の中央粒度を目標として, 再生骨材混入率が最大となるように粒度合成を行った. その結果, 再生骨材混入率の上限は, 機械破碎の場合 50%程度であるのに対し, 過熱蒸気解砕では 90%程度まで高められる可能性があることがわかった.

d) 臭気測定

ドライヤ加熱時に発生する臭気を再現する目的で, ここでは室内加熱装置を用いてポーラス As 再生骨材を加熱し, その時に発生する臭気成分量を以下のように測定した.

分級粒度区分 13-5mm の再生骨材を用いて密閉状態の容器の中で各加熱温度 (130℃, 180℃, 230℃) において発生するガスを採取し, ガスクロマトグラフ (写真-3) により臭気成分 THC 値の測定を行った.

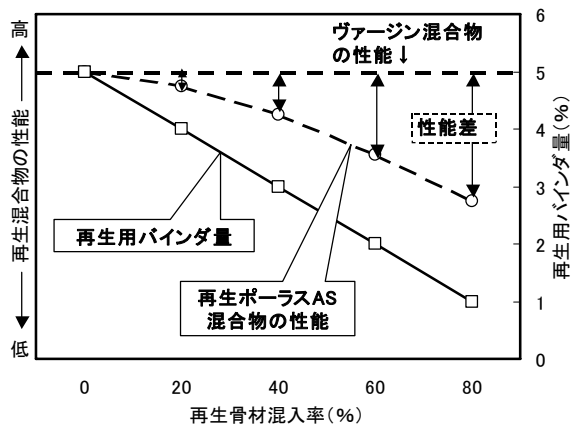


図-7 再生骨材混入率と再生混合物の性能

ここで、THC 値とは、全炭化水素量として臭気成分の量を表す指標である。図-6 に加熱温度と THC 値の関係を示す。過熱蒸気解砕の THC 値は、いずれの温度にあっても機械破砕に比べ低い測定値を示した。この値は臭気が問題視されていないストレートアスファルトを用いた密粒度再生骨材のレベルにまで改善されているといえる。

なお、THC 値において過熱蒸気解砕の方が小さくなった理由は、臭気発生の原因となる細粒分がきれいに分級されたためと考えられる。

3. 再生用バインダの開発

(1) 基本的な考え方

本論文における再生ポーラス AS 混合物は、いずれの再生骨材混入率にあっても、改質 H 型を使用した新材 100% のポーラス As 混合物（以下、ヴァージン混合物という）と同等の性能に再生したものと定義する。また、再生されたポーラス As 混合物中のアスファルト（以下、再生アスファルトという）は、旧アスファルトおよび新たに加える再生用バインダの 2 種類から成るものとし、再生用添加剤および再生用ポリマーを使用しないこととする。したがって、再生骨材の混入率の多少によって、再生用バインダ量が単純に決まることになる。例えば、最大粒径 13mm、空隙率 20% のポーラス As 混合物のアスファルト量は一般に 5% 前後であることから、ここでは 5% と仮定すると、混入率 20% とした場合の再生アスファルト量の内訳は、旧アスファルトが 1%、再生用バインダが 4% となる。同様に混入率 60% の場合の再生用バインダ量は 2% となり、混入率 80% に至っては、わずかに 1% となる。

一般的に改質 H 型を使用して得られる再生骨材混入率と再生ポーラス As 混合物の性能の関係は、図-7 のようになると考えられ再生骨材混入率の増加に伴い混合物性能は低下する。また、それぞれの再生骨材混入率に応じて新たに加える再生用バインダ量も併せて同図に示した。

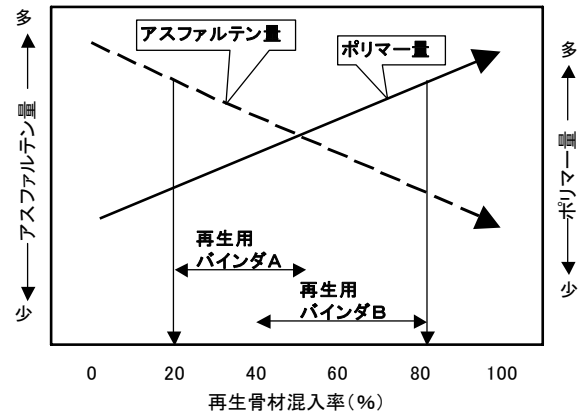


図-8 再生骨材混入率と再生用バインダに求められる化学的組成およびポリマー量の関係（再生用バインダの適用範囲）

これによれば、再生骨材混入率が高いほど少量の再生用バインダで所定の性能を確保しなければならないことがわかる。既往の研究における再生骨材混入率は、概ね 30～50% 程度を対象としたものが多く^{9),10)}、50～80% にまで対象を広げて適用性を検討した事例はほとんどない。本研究で開発した再生用バインダは、化学的性状および改質材であるポリマー量を調整することで、混入率 80% 程度にまで適用範囲の拡大を図ったものである。

以下に、再生用バインダ性状に関する具体的な考え方について述べる。

(2) 再生用バインダ

再生骨材混入率と再生用バインダに求められる化学的組成（アスファレン量）およびポリマー量の関係を概念図として図-8 に示す。アスファレンは、骨材同士の接着強度、通行車両に対する耐荷力等を得るために必要な成分であり、改質材としてのポリマーは流動抵抗性および骨材飛散抵抗性等を得るために必要な成分となる。したがって、再生アスファルト中の両者の割合はヴァージン混合物と同等となることが求められる。

再生骨材混入率の増加に伴い、再生アスファルト中には、劣化してアスファレン量が増加し、ポリマー量が減少した旧アスファルトの占める割合が多くなることから、再生ポーラス As 混合物の性状は硬く脆くなる傾向を示す。したがって、新たに加える再生用バインダは、再生骨材混入率が増加するほどアスファレン量が低く、かつポリマー量の多いものが求められる。

本来は、再生骨材の混入率および旧アスファルトの劣化状態に対応した再生用バインダを各現場単位に供給するのが理想といえる。しかし、そのような再生用バインダを現場単位に調整することは、再生用バインダの処方決定のための各種の性能確認試験を要し、再生用バインダの製造および供給作業も繁雑となることから、再生骨材混入率 20～80% 程度の範囲を網羅できる 2 種類の再生

表-3 再生用バインダの性状

項目		再生用バインダ		<参考> 改質H型
		A	B	
針入度(25℃)	1/10mm	90	72	51
軟化点	℃	87.5	97.0	97.0
60℃粘度×10 ⁴	Pa・s	10+	10+	10+
フラス脆化点	℃	-30	-35以下	-20
密度(15℃)	g/cm ³	1.028	0.972	1.030
化学組成	アスファルテン	%	16.1	8.6
	レジン	%	19.5	65.4
	芳香族	%	61.9	20.1
	飽和分	%	2.5	5.9

表-4 評価性能および試験の種類

評価性能	評価指標	試験項目	試験条件	評価基準
低温領域における骨材飛散抵抗性	カンタプロ損失率 (%)	低温カンタプロ試験	試験温度 0℃	改質H型混合物と同等以上
高温領域における骨材飛散抵抗性	変位量 (mm)	回転WT試験 (リットルタイプ使用)	試験温度 60℃, 載荷荷重 686N, 回転半径 10cm, 回転速度 10.5回/min	改質H型混合物と同等以上
高温領域における流動抵抗性	動的安定度 (回/mm)	ホイールトラッキング試験	試験温度 60℃, 載荷荷重 686N	3,000回/mm以上
低温領域におけるひび割れ抵抗性	曲げ破断ひずみ	曲げ試験	試験温度 -10℃, 載荷速度 50mm/min	改質H型混合物と同等以上

用バインダ (A, B) を試作した。

これらの再生用バインダの性状を表-3に示す。再生用バインダBは、アスファルテン量をAの1/2程度と少なくし、さらに改質H型よりも多量のポリマーを添加していることからフラス脆化点も-35℃以下となり、大幅な低温性状の向上が窺われる。このような再生用バインダを使用することによって、再生骨材混入率を50%以上に高めた再生ポーラスAs混合物に適用可能となることが期待される。

4. 再生ポーラスAs混合物の性能評価

(1) 試験の種類

ポーラスAs再生用バインダを用いた混合物の性状を評価する性能指標として、表-4に示す項目について試験を実施した。

骨材飛散抵抗性の評価は、供用時の低温領域および高温領域に分けて、それぞれカンタプロ試験と回転WT試験を実施した。また、流動抵抗性および低温時のひび割れ抵抗性の評価として、一般的なホイールトラッキング

表-5 配合の種類

再生用バインダの種類	再生骨材混入率 (%)							
	0	20	30	40	50	60	70	80
A		○	○	○	○			
B				○	○	○	○	○
H型	○							

※ ○印が試験を行った配合である。

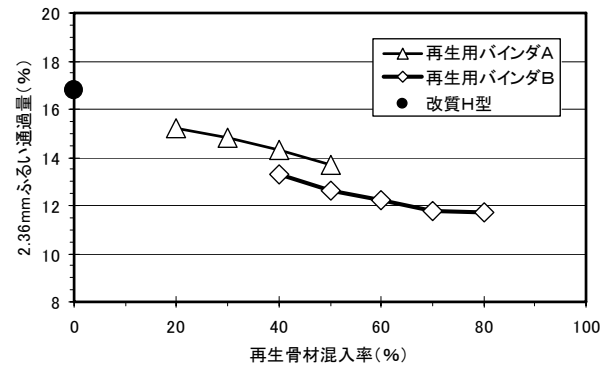


図-9 各配合における2.36mmふるい通過量

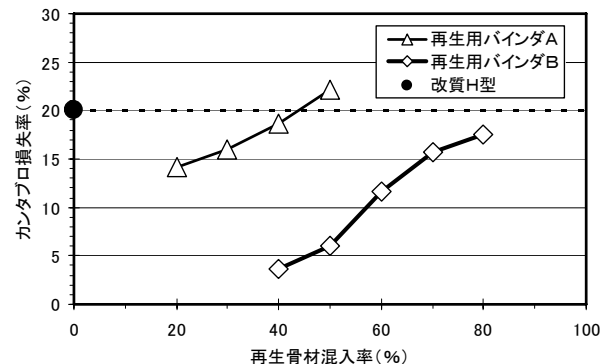


図-10 低温カンタプロ試験結果 (0℃)

試験と曲げ試験を行った。

(2) 再生骨材混入率と再生用バインダの組合せ

2種類の再生用バインダの特性を踏まえ、表-5に示す再生骨材混入率と再生用バインダの組合せを設定した。再生用バインダAについては、再生骨材混入率を20, 30, 40, 50%, 再生用バインダBについては、再生骨材混入率40, 50, 60, 70, 80%と設定した。なお、比較対象として、改質H型を用いたヴァージン混合物も併せて作製した。

(3) 空隙率

各配合における空隙率は新材粒度を変化させることにより20%となるように調整した。空隙が20%となった時の各配合における2.36mm通過量を図-9に示す。この図から、再生骨材混入率が高くなるにしたがい、空隙率20%を確保するためには2.36mm通過量を小さくする必要があることがわかった。

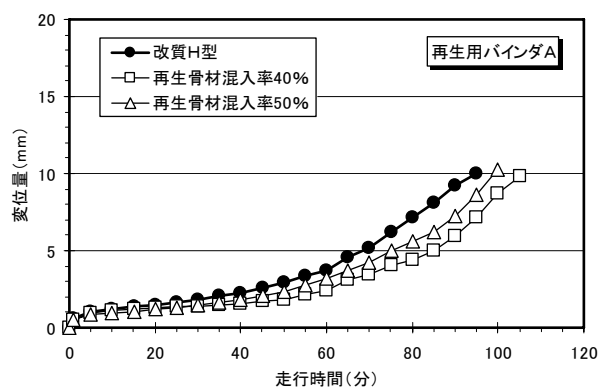


図-11 回転WT試験による変位量（再生用バインダ A）

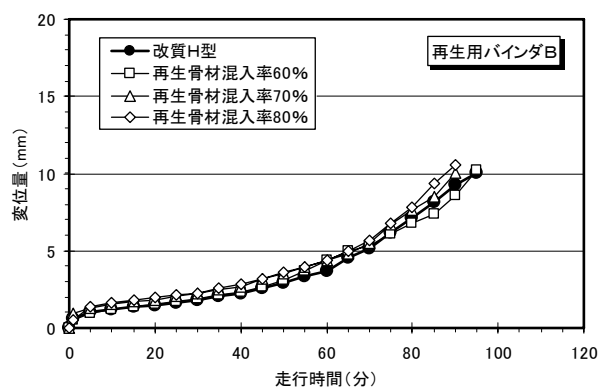


図-12 回転WT試験による変位量（再生用バインダ B）

(4) 試験結果

a) 低温カンタプロ試験結果

0℃における低温カンタプロ試験結果を図-10 に示す。カンタプロ損失率は、いずれの再生用バインダにあっても、再生骨材混入率の増加に伴い上昇する傾向を示した。

本試験の結果より、低温領域における骨材飛散抵抗性については、再生用バインダ A の場合で再生骨材混入率 40%以下、再生用バインダ B の場合で 80%以下の範囲であればヴァージン混合物と同等または同等以上の性能が有することが確認できた。

b) 回転WT試験結果（ソリッドタイヤ使用）

回転 WT 試験結果を図-11, 12 に示す。なお、対象とした再生骨材混入率は、再生用バインダ A は、再生材混入率 40, 50%, 再生用バインダ B は、再生材混入率 60, 70 および 80%である。

本試験にあっては、試験時間の増加とともにタイヤ軌跡の骨材が飛散し、わだち掘れを形成する。その沈下量が 10mm に達するまでの試験時間は、再生用バインダ A の場合、再生骨材混入率 40, 50%ともに、ヴァージン混合物の到達時間である 95 分を上回っている。また、再生用バインダ B については、再生骨材混入率によらずヴァージン混合物と同等の結果が得られた。

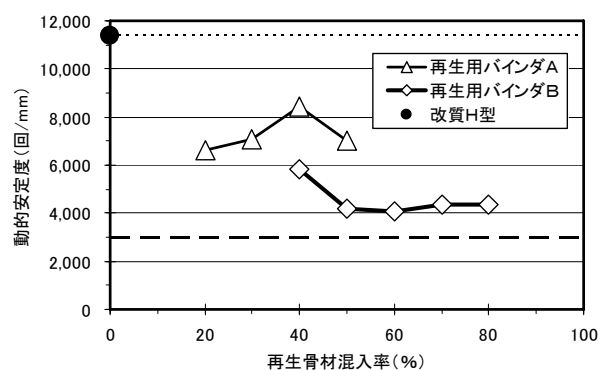


図-13 ホイールトラッキング試験結果

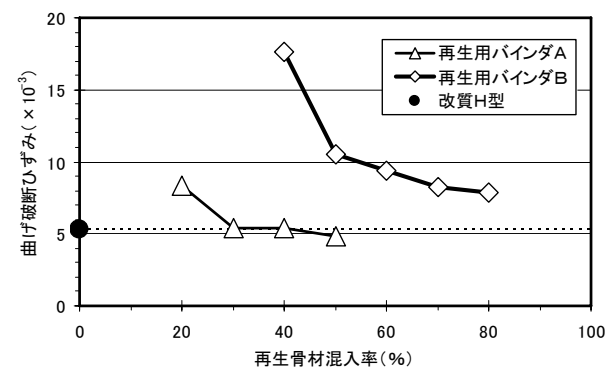


図-14 曲げ破断ひずみの結果（-10℃）

これらのことから、高温領域における骨材飛散抵抗性については、再生用バインダ A は再生骨材混入率 50%以下、再生用バインダ B は再生骨材混入率 80%以下の範囲で、ヴァージン混合物と同等または同等以上の性能が得られることがわかった。

c) ホイールトラッキング試験結果

ホイールトラッキング試験結果を図-13 に示す。本試験は、荷重条件 $686 \pm 10\text{N}$ 、締固め度 100%の供試体を用いて実施したものであり、塑性変形輪数を求める試験条件とは異なるが、過去の実績より N_T 交通量で必要とされる塑性変形輪数 3,000 回/mm¹¹⁾ を十分満足しているものと考えられる。

d) 曲げ試験結果

再生骨材混入率と曲げ破断ひずみの関係を図-14 に示す。再生骨材混入率の増加に伴い曲げ破断ひずみは低下する傾向を示すが、再生用バインダ A は再生骨材混入率 50%程度まで、再生用バインダ B は 80%までの範囲においてヴァージン混合物と同等の値が得られた。特に再生用バインダ B は、曲げ破断ひずみがヴァージン混合物に比べて大きく上回っていることから、ひび割れ抵抗性の改善効果が大きいと推察される。

5. まとめ

今回の検討結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- ① 過熱蒸気で解砕しても、旧アスファルトの劣化はない。
- ② 過熱蒸気解砕は従来方式である機械破碎と比較して、抽出後粒度において 13-5mm 残留分で 15%程度、5-2.5mm 残留分で 23%程度増加する。この差を再生骨材混入率で言い換えると、機械破碎では 50%程度が限界であるのに対し、過熱蒸気解砕では 90%という大きな差となって現れる。
- ③ 過熱蒸気解砕により、細粒分が分級されることから、混合物製造時の骨材加熱過程において付着や臭気の問題解消に繋がるものと期待される。
- ④ 開発した再生用バインダ A は再生骨材混入率 40～50%程度まで、再生用バインダ B は再生骨材混入率 80%程度までであれば、ヴァージン混合物と遜色のない性能まで回復可能である。

6. おわりに

本研究ではポーラス As 舗装を対象にして、まず、過熱蒸気解砕技術を用いることにより、従来よりも再生骨材混入率が高められることを示した。次いで、再生骨材が高混入率となった場合でも良好な再生が可能となる再生用バインダを開発した。しかし、今回の実験では使用した切削材が 1 種類のみであることから、今後より多くの切削材を用いてデータを蓄積していく必要があると考えている。また、試験施工等を実施することにより、長期耐久性を確認することが急務であると考えている。これらの事項については今後の課題としたい。

本研究で開発した再生用バインダは、プラント再生のみならず路上表層再生技術にも適用可能であり、これらを視野に入れた幅広い活用を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 綾部孝之, 佐々木巖, 久保和幸: 排水性舗装の破損特性およびリサイクルについて, 舗装, pp.16-21, 2007.3.
- 2) 佐野正典, 山田勝, 加藤俊昌, 辻森和美: 排水性舗装発生材のリサイクルと骨材特性, 舗装, pp.12-16, 2006.10.
- 3) 武本敏男, 峰岸順一, 鈴木勲: 再生した特殊開粒度アスファルト混合物の試験施工, 東京都土木技術研究所年報, pp.289-292, 2003.
- 4) 松本大二郎, 川村和将, 高橋光彦, 大河内宝, 白戸孝治: 高機能舗装混合物のプラント再生に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第 9 巻, pp.125-132, 2004.12.
- 5) (社) 日本道路協会: 舗装再生便覧, pp.22, 2004.2.
- 6) 舗装委員会, 環境・再生利用小委員会再生 WG: 排水性舗装発生材の再生利用技術確立に向けた直轄国道試験施工の中間報告, 道路, pp.42-46, 2006.7.
- 7) 大河内宝, 堀口悟, 中西弘光, 丸山輝彦: 再生高粘度改質アスファルトの性状と再生排水性混合物に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第 9 巻, pp.101-108, 2004.12.
- 8) (社) 日本道路協会: 舗装施工便覧, 2006.2.
- 9) 小長井彰祐, 新田弘之, 久保和幸, 西崎到: 排水性舗装発生材のリサイクル, 土木技術資料 pp.24-29, 2006.7.
- 10) 黄木秀実, 伊藤達也, 酒寄和之: ポーラス AS 舗装の再生用改質アスに関する一考察, 第 24 回日本道路会議, 一般論文集, pp.408-409, 2001.10.
- 11) (社) 日本道路協会: 舗装の構造に関する技術基準・同解説, 2001.7.

A RESEARCH ON RECYCLING TECHNOLOGY OF POROUS ASPHALT PAVEMENT THAT RAISED RECYCLING AGGREGATE MIXING RATE

Katsuji NISHIJIMA, Shigeo HIGASHI, Shigeru WATAYA, Akiyoshi HANYU
and Muneharu INA

Since the porous asphalt pavement which has drainage function has constructed for 20years. The time to repair the porous pavement will come soon at a burst. Therefore, it is necessary to establish the recycling technology for porous pavement in hurried. Also, the technology is desired to reuse milled pavement in large quantity at once. For the purpose that raising the rate of using recycled aggregates, we applied superheat steam crushing technology for manufacturing recycled aggregates, and could confirmed that mixing rate of recycled aggregates for the mixture up to 90% on our calculation. However, it is difficult to re-modify the old asphalt with sufficient quality for porous asphalt pavement if the large quantity of recycled aggregate put into the mixture. In order to solve this problem, special binder was developed to be re-modify the old asphalt in the range of 20% to 80% of mixing rate of recycled aggregate, and we confirmed that good recycled porous asphalt mixture is produced from this method.