

微粉末材料を活用したアスファルト舗装発生材の再材料化に関する研究

久利良夫¹・佐野正典²・柳下文夫³・山田優⁴

¹正会員 博(工) 阪神高速道路管理技術センター 技術情報部 (〒541-0054 大阪市中央区南本町4-5-7)
[近畿大学大学院 工学研究科 博士後期課程 (〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)]

²正会員 工博 近畿大学教授 理工学部土木工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

³正会員 工博 近畿大学助教授 理工学部土木工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

⁴正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部環境都市工学科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

本報告は、アスファルト舗装発生材および微粉末状のコンクリート材の再材料化について検討したものである。まず最初に、これら両材料の再材料化に関する新しい手法を提案した。また、この手法中の要因である混合温度や適切な材料の添加量などを明らかにした。次に、再材料化後の再生新材料によるアスファルト混合物での基礎的な性状について考察した。その結果、提案の手法を適用した再生新材料は、容易な取扱いのもとで再利用できる再生粗・細骨材に仕上がることがわかった。さらに、再生粗骨材は、骨材表面にアスファルト膜が残留付着していることから、これの除去方法について検討した。これより、再生粗骨材をアスファルトが付着していない生産当初の骨材表面状態にまで再生(以下、甦生)できることがわかった。

Key Words: *recycle, waste asphalt concrete, powdered concrete, powdered waste, recycled aggregate, recycled asphalt compound*

1. はじめに

わが国の社会環境の中で発生する建設系廃棄物の排出量は膨大な量を占めている^{1),2)}。これらの再利用率は発生量の約50%程度に及んでいる。とはいえ、建設系廃棄物の将来にわたる発生状況は依然増加の様相を呈している。これに反してこれからの適切な処分地の確保には、困難な状況をとまなうことも指摘されている³⁾。一方では、良質骨材の不足、資源の枯渇対策などが問題視されてきており、新たな骨材の再材料化技術も必要と考えられる。

アスファルト舗装発生材の再利用に関しては、これまでの貴重な研究の蓄積からすでに再生化の技術指針が確立され運用されている^{1),4),5)}。現在の再材料化処理法は、初期過程でその大半が機械破砕形式に依存している。一般に、この破砕方法で産出された材料は、フィラーアスファルト、アスファルトモルタルあるいは、これらと骨材とが組み合わさって形成された骨材(以下、疑似骨材)と通常の骨材とが混在する。また、破砕工程では、骨材の細粒化が生じると推察される。この再生骨材を用いた再生アスファルト混合物は、その

加熱混合過程において疑似骨材が溶解し、配合設計時の骨材粒度や最適アスファルト量に影響したり、溶解に至らない場合は、仕上がった舗装の耐久性を左右する。これらの問題に加え、これまでの再生技術には、再生材を再活用、再々活用する場合や改質アスファルト混合物を再生する場合の均一な骨材の品質確保などの課題が残されている^{6),7)}。

他方、解体されて発生するセメント・コンクリート塊の破砕処理後の材料は、その過程で多量に発生する微粉化したコンクリートの粉末(以下、コンクリート粉末材)の処分が新たな問題を提起している^{7),8)}。

これらを背景として、筆者らは、加熱したアスファルト舗装発生材に、コンクリート粉末材を投入して、骨材を個々に分離独立した状態で分別回収する一手法を見いだした。回収した骨材は、アスファルトが薄膜状で骨材表面にまだ付着しているものの骨材形状は非破砕状態、すなわち骨材生産時の原形を保持した骨材である。また、この再生骨材は、比較的容易に洗浄することができ、骨材を生産当初の状態に甦生化することが可能である。この手法での粉末材料には、コンクリート粉末材に限らず微粒子の石炭灰などの産業副

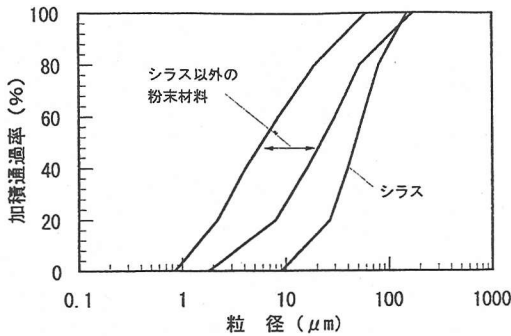


図-1 粉末材料の粒度分布

表-1 粉末材料の特性

粉末材料の名称	物理試験結果						
	真比重	40% (μm)	50% (μm)	60% (μm)	MV [※] (μm)	ブレン (cm ² /g)	
泥水固形土	2.520	17.0	21.5	28.0	30.7	0.540	1.180
フライアッシュ	2.109	15.0	21.6	30.0	37.5	0.480	2.910
原石スラッジ	2.601	17.0	22.9	30.0	29.5	0.450	2.000
火山灰	2.580	17.0	21.2	26.0	24.6	0.510	2.060
シリカ	2.272	40.0	49.0	57.0	55.0	0.600	1.690
コンクリート粉末	2.352	14.0	18.4	25.0	23.5	0.500	4.040
石粉	2.651	4.6	6.4	8.6	11.0	0.500	4.760
セメント	3.150	11.0	14.6	19.0	17.9	0.500	3.360
製鋼スラッグ粉末	3.070	12.0	15.0	20.0	18.6	0.530	3.730
人工ゼオライト	2.150	13.0	15.5	20.0	20.5	0.650	6.090

注) MV[※]: 体積平均粒径 (μm)

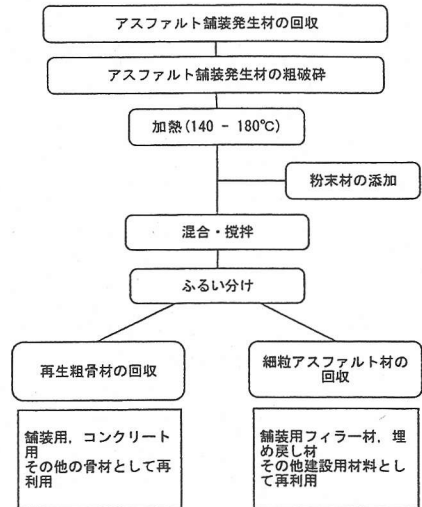


図-2 アスファルト舗装発生材の再材料化手法

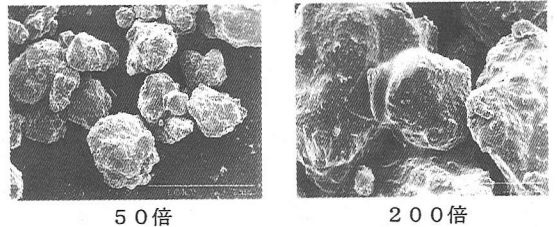


写真-1 再生細粒アスファルト材の電子顕微鏡写真

産物や火山灰などの粉末状廃棄物も適用可能であることがわかった。

本報告は、簡便な骨材の回収方法を提案すると同時に、回収した骨材を生産当初の骨材と同等に養生化する方法に関して検討を加えたものである。本手法に基づき養生化された粗骨材は、再度、建設材料として活用可能な性状を保有していると思われる。このことから、今後もお発生しつづけるアスファルト舗装発生材および建設系廃棄物の再利用対策や良質骨材の枯渇問題に対処するため、これまでの研究結果をまとめて報告するものである。

2. アスファルト舗装発生材および粉末材

実験に使用したアスファルト舗装発生材は、供用後に回収した密粒アスコン、改質アスコン塊および当実験室に試験後2～3年間放置した試験片などである。

準備した粉末材料は、解体されたコンクリートの再生処理過程で発生するコンクリート粉末材である⁷⁾。また、各方面において適切な処理・処分の開発が要求されている粉末状の産業副産物あるいは産業廃棄物なども用いた。これらの粉末材料は、図-1に示すような粒径曲線を有する微粒子のものである。特に、これ

らの材料は、取扱い中に発生する粉塵が弊害となる。また、使用した粉末材料の種類と主な特性は、表-1のとおりである。

3. アスファルト舗装発生材の再材料化

(1) 再材料化手法の提案

アスファルト舗装発生材の再材料化手法は、図-2に示すとおりである。まず微粉末材を、加熱溶解した粗破砕後のアスファルト舗装発生材中に投入し、適性温度のもとでこれを2～3分間攪拌混合する。この時点で、すでに骨材に付着あるいは骨材間を充填していたアスファルトの大半は、投入した粉末材にほぼ均等に付着した状態となる(写真-1)。すなわち、アスファルト混合物は、固結能力を失い個々に分離独立した原形状態に近い骨材と細粒化した材料に分解する。冷却後、これを所定寸法でふるい分け、骨材表面にまだ薄膜状のアスファルトが付着した状態の粗・細骨材(以下、再生粗骨材)さらに粒径2mm以下の細粒材(以下、再生細粒アスファルト材)を分別回収して再材料化する手法である。

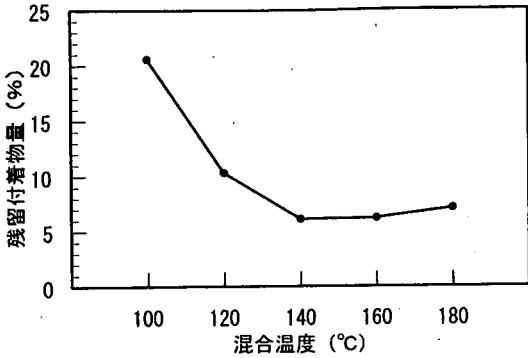


図-3 再生粗骨材の残留付着物量と混合温度との関係

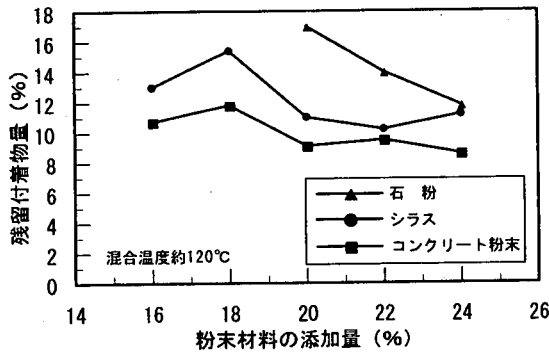


図-4 再生粗骨材の残留付着物量と粉末材料の添加量との関係

(2) 混合温度の決定

アスファルト舗装発生材と添加粉末材との混合温度は、回収した骨材表面に薄膜状態で残留付着しているアスファルトもしくはフィラーアスファルトの残留付着物量（残留付着物重量／骨材重量×100）を基準とし、これの最小値から定めた。図-3の結果から、残留付着物量だけから見ると、この付着量が6～7%のほぼ一定値を呈す140～180°Cの混合温度が望ましいことがわかった。再生粗骨材の再利用の面からは、混合温度をさらに高くし骨材に付着しているアスファルトをより軟化させ添加粉末材に多くのアスファルトを付着させることが好ましいと推察される。しかし、アスファルト舗装発生材中のアスファルト自体は、極端に劣化していないとの報告⁹⁾もあるが、アスファルトの熱劣化を最小にすることも重要である。このことから、本実験では、混合温度を120～160°Cとした。この場合の再生粗骨材に付着しているアスファルト量は、設計当初のアスファルト混合物の推定アスファルト量（5～7%）から約70～80%減少した1.5～1.7%程度であると概算される。

(3) 粉末材の添加量

a) 添加量と混合粉末材種

粉末材の添加量は、混合温度と同様の基準から決定し

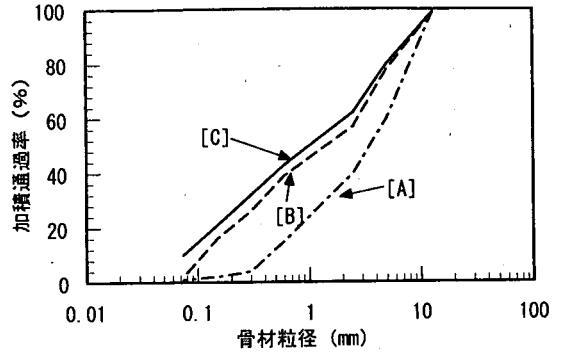


図-5 再材料化手法の相違による骨材の粒径曲線

た。図-4より、粉末材の添加量が16%未満では、粉末材の不足からアスファルト舗装発生材がまだ塊状であったり、アスファルトモルタルやフィラーアスファルトで形成された細骨材分が発生する。他方、24%以上では、粉末材が過剰添加となり、アスファルトの付着しない余剰粉末材の粉塵が発生し取扱いを困難にする。これらの判断要因から16～24%を添加量の適量範囲とした。

次に、各々の粉末材の特性や粒径を考慮して、より効果的な結果を得る目的から混合粉末材を作製した。この場合、吸油性を有する人工ゼオライト粉末を多量に配合した粉末材は、アスファルト中の油性性状を吸収する目的からは効果的である。しかし、これに起因する粉塵の発生が弊害となることから、人工ゼオライト粉末は粉末材量の10%とした。そして、混合粉末材は三者の粉末材の重量配合とし、その配合割合はコンクリート粉末材：シラス：人工ゼオライト＝72：18：10（以下、CSZ混合粉末材）とした¹⁰⁾。

b) 再生材料の粒径分布

現状の再生アスコンを利用する場合の問題点は、劣化したアスファルトの性状に加えて、再生アスコンに含まれるアスファルトモルタルやフィラーアスファルトで形成された疑似骨材の取扱いである。すなわち、再生アスコンを路盤材として再利用する場合、また新規アスコン中に数%～数十%これを添加して活用する場合などに生じる疑似骨材の影響程度である。特に、後者では新規アスコンの最適アスファルト量や骨材の粒径分布に影響が生じ、敷設後のアスファルト混合物の性状が異質になると考えられる。これは再生アスコンの再生方法に起因するものである。そのため、再生アスコンと提案の手法とによる粒径分布曲線の相違を同一材料を用いて調べた。図-5は、その結果である。一般的な再生アスコン用骨材の粒径曲線(A)を有する試料に添加粉末材を投入して、本手法に準じて骨材を回収するとその粒径曲線は(B)となる。さらに、この再生粗骨材表面にまだ付着しているアスファルトを溶剤で取り除くとその曲線は(C)となる。これからも明

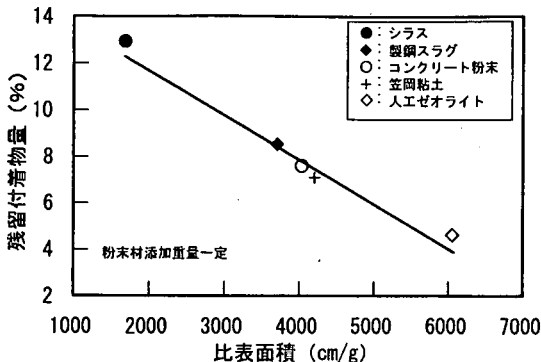


図-6 残留付着物量と比表面積との関係

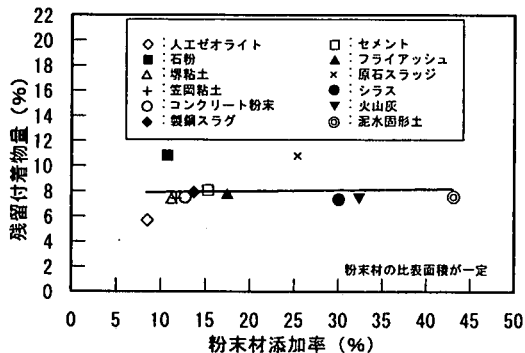


図-7 残留付着物量と粉末材料の添加率との関係

確なように、再生粗骨材の粒径曲線(B)と骨材独自の粒径曲線(C)とは近似しているが、曲線(A)と曲線(B)とは大きく相違している。これは前述した疑似骨材の影響と考えられ、本手法での再生粗骨材を再度アスコン材料として用いる場合には、この問題を解消すると同時に、アスファルト舗装要綱の配合設計法の適用が可能となる。

c) 粉末材の比表面積

理論的に、同材料のもとで粒子径が異なる二種類の粉体がそれぞれ同重量存在する場合、両者の粒子が保持する総表面積は、粒子が微細なものほど大きくなる。この粒子の表面積に基づいて、アスファルト混合物中の骨材の表面積と所要アスファルト量との関係を阿部らは考察している¹¹⁾。この粒子特性から、粉末材の添加量は、それが保有する粒径に相関する表面積や比重の相違から生じる同体積中の粒子数の多少に影響するといえる。したがって、添加粉末材は微細な粒子ほど効果的であると同時に、使用する粉末材の種類と性状によって、その添加量は幾分異なるものと考えられる。そこで、これまでの実験結果から、再材料化における粉末材の最適添加量を基準として、各種の粉末材をこれと同重量の場合、および同表面積とした場合の2条件下で準備した。粉末材の重量あるいは粒子表面積から定めた添加量と再生後の骨材表面に付着してい

る残留付着物量との関係を図-6および図-7に示した。図-6に示すとおり、同質量の各種の粉末材を添加した場合は、その総表面積が大きいものほど回収した骨材へのアスファルト付着量が減少する傾向となる。すなわち、骨材に残留付着しているアスファルト量は少ない。図-7は、各種の粉末材粒子の総表面積を一定とした場合の結果である。これより、再材料化後の骨材への残留付着物量は、ほぼ同程度を呈している。このことは、粉末材へのアスファルトの付着は粉末材種には無関係であり、粉末材が有する表面積に依存することを示唆している。

(4) 稼働中の混合プラントでの適用

本手法の稼働中の混合用プラントでの適用性を検証する目的から、アスファルト舗装発生材に所定量の粉末材を混入して骨材および細粒材などを回収した。この結果からは、稼働中の混合用プラントにおいても本手法の適用が容易であることを確認した。この場合の再生粗骨材への残留付着物量は7%であった。しかし、添加粉末材種が異なる場合や母材となるアスファルト混合物が多量のアスファルトを含有している場合には、多くの添加粉末材量を必要とする場合もある¹²⁾。このことから、混合用プラントでの実験においても、粉末材の比表面積などの材料特性を加味する必要性が示唆された。一方、アスファルト舗装発生材に添加する粉末材の添加量は8~12%が適当と判断された。本結果からは、再生プラントが非設置の地域や遠隔地においても幾分検討を加えることにより、この種の骨材の再生化も可能になると予測される。

4. 再生骨材（再生粗骨材・再生細粒アスファルト材）の有効利用

(1) 再生アスファルト混合物への適用

本実験で用いた再生粗骨材には骨材重量の7~9%のアスファルトあるいはフィラーアスファルトが薄膜状態で付着している。一方、分別したCSZ混合粉末材の再生細粒アスファルト材には38~40%のアスファルトが含まれている。この両再生材を使用して再生アスファルト混合物を作製した。再生粗骨材の残留付着アスファルト厚は薄膜状であるため、これが骨材の粒径に与える影響は少ないことから、骨材の配合設計は舗装要綱に準じた。フィラー材には再生細粒アスファルト材から0.85mm以下のもの(以下、粉末アスファルト)を準備した。粉末アスファルトの含有量は通常設計におけるフィラー材(石粉)に対する体積置換とした。

混合物の全材料を再生骨材で構成した場合の最適アスファルト量(OAC)はすでに骨材に付着しているアス

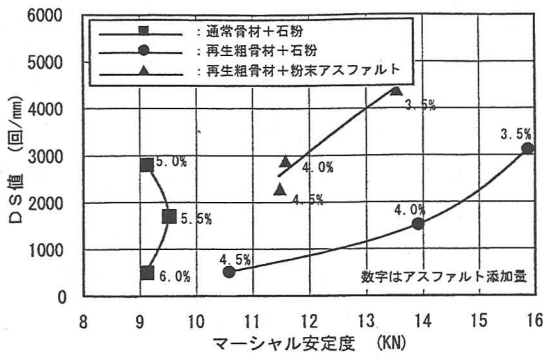


図-8 動的安定度とマーシャル安定度との関係

ファルト量が不明確であるため安定度、フロー値、密度の三要素から決定した。この再生混合物のOACは通常のアスファルト混合物のそれに比較して約2%程度少ない3.5~4.0%であった。また、フィラー材のみに粉末アスファルトを用いた場合のOACは通常の5.5~6.0%の範囲内にあった。このことから、再生骨材を用いる場合は、これに付着しているアスファルト量が混合物中の全アスファルト量に影響しているものと考えられる。しかし、OACの決定方法に対しては現行のマーシャル試験方法の適用が可能といえる。これに基づいてのWT試験を行い、動的安定度とマーシャル安定度との関係を図-8に示した。この結果、再生粗骨材と粉末アスファルトとは同時に用いる方がより効果的な傾向を示し、この混合物のDS値は通常の4倍以上を期待することも可能である。しかし、再生アスファルト混合物に危惧されるひび割れの発生など¹⁹⁾に関してはなお検討の余地が残されている。しかしながら、再生骨材の使用方法をさらに究明すれば、取扱い易いアスファルト混合物の骨材として活用することも可能となろう。

(2) 再生細粒アスファルト材の再利用

a) 締固め温度とマーシャル安定度

再材料化した再生骨材のうち、再生粗骨材は、前項に示した再生アスファルト混合物用骨材として、あるいは埋戻し材、路盤材、他の建設用の骨材として比較的広範な再用途面が考えられる。しかし、本手法の再材料化では粉末材を添加する関係上、新たに発生する再生細粒アスファルト材の有効利用の検討が必要である。そのため、再材料化時のアスファルト量を保有した状態での再生細粒アスファルト材単体によるマーシャル安定度試験を試みた。粉末材の添加により再材料化したサンドアスファルトに類似する性状の再生細粒アスファルト材には特別な配合設計は行わず、仕上がった供試体の所定寸法を満足する重量を加熱し、打撃回数は片面50回で締固めた。締固めは、常温、60、80、100、120、140℃の6種類の温度条件にて行い、マー

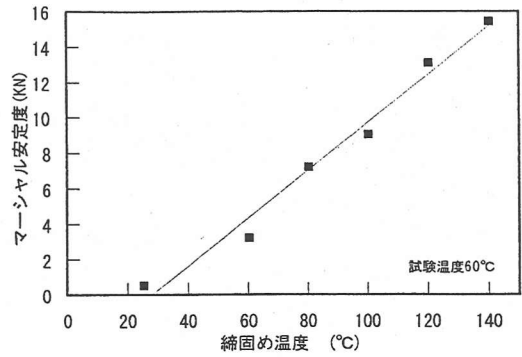


図-9 締固め温度とマーシャル安定度との関係

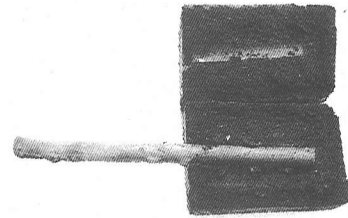


写真-2 再生細粒アスファルト材に埋設して海水中に浸漬した鉄筋

シャル安定度との関係を図-9に示した。再生細粒アスファルト材は常温下での締固めは可能であるが、アスファルトに固結能力はなく、マーシャル安定度は締固め温度60℃下で3kN、常温下では1kNであり、十分な強度を期待できない。逆に、加熱し締固めた再生細粒アスファルト材のマーシャル安定度は、加熱温度が80℃以上となると7kNを超える通常のアスファルト混合物のそれとほぼ同程度の高安定度を有する性状を呈した。この強度の相違は加熱作用によるアスファルトの付着性状の回復もさることながら、締固め後の密度が常温下では1.62g/cm³、高温下(140℃)では2.19g/cm³と大きく異なることから、締固め時温度に起因する密度変化の影響と考えられる。

他方、締固めた再生細粒アスファルト材は、アスファルト特有の防水性能を有していると考えられる。このことから、棒状の金属材料の一部を再生細粒アスファルト材に埋設した試験片を製作し、海水中に2年間放置した。その結果、写真-2のように金属材料への耐腐食効果が認められた。

これらのことから、再生細粒アスファルト材は80℃以上の温度で締固めることにより高安定度を示し、特に防水性を考慮した材料として、また適当な改良材を加味すれば簡易な舗装材料などへの適用も可能になるものと考えられる。

b) 粉末添加材および補助剤

再生細粒アスファルト材を常温で締固めた供試体に

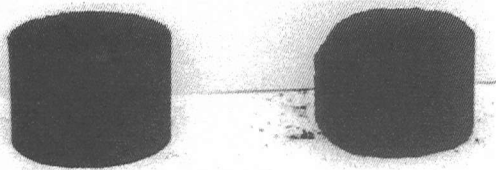


写真-3 補助剤添加の有無による再生細粒アスファルトの締固め状況

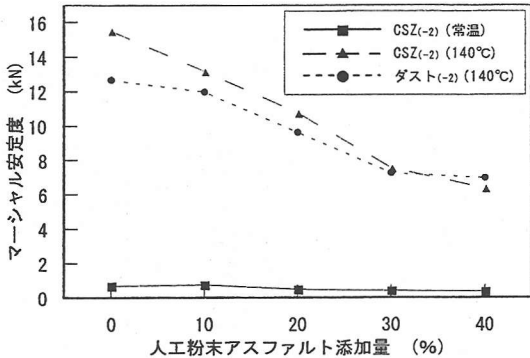


図-10 マーシャル安定度と人工粉末アスファルト添加量との関係

は、アスファルト特有の粘りはなく写真-3に示すように脆性を伴う破損状態が観察された。これは添加粉末材が石粉の場合に比して特にCSZ混合粉末材に顕著であった。このことは粉末材の吸油特性の有無に起因するものと考えられ、回収材料の再利用途に対しては添加粉末材種の選択も加味する必要を促している。特に、ベントナイト系は吸水性を検討する必要がある、スラグ粉末が好ましい。

本実験での回収材料に付着したアスファルトは比較的新しいアスファルト舗装発生材からのものであるから、通常排出されるアスファルト舗装発生材中の劣化アスファルトとその成分は異なるものと考えられる。再生アスファルト混合物生産の場合は劣化成分の補充の目的から添加剤が混入されるが、これを用いたものにはひび割れが多く発生する場合や軟化剤にすぎないなどの報告もある¹⁴⁾。そのため、回収細粒材の脆性改良と粒子の付着性の向上から、これにアスファルトをマイクロカプセル化した人工粉末アスファルト(東亜道路工業(株)製)を10~40%重量比で混入してこれの改良を試みた。図-10, 11のマーシャル安定度およびフロー値からも明確なように、この混入量の増加とともに安定度は減少傾向を示す。これは人工粉末アスファルト量の増加に起因するものと判断されるが、これの20%未満のフロー値には顕著な傾向はみられない。

次に、常温下での締固めにより高密度および高安定度を得ることを目的として、再生細粒アスファルト材

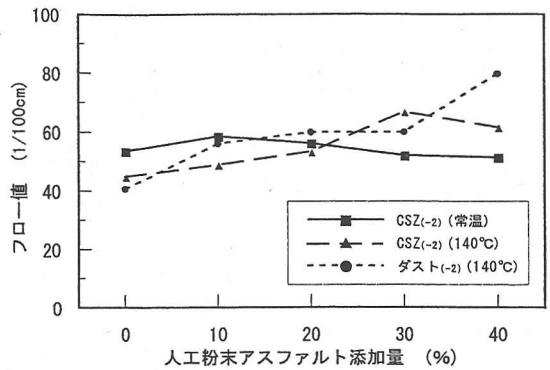


図-11 フロー値と人工粉末アスファルト添加量との関係

表-2 締固め用補助剤

	図中記号
ケロシン (第4類第2石油類)	K
オイル系アスファルト乳剤	O
水系アスファルト乳剤	B

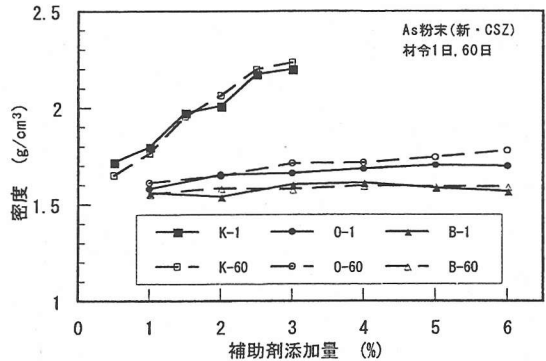
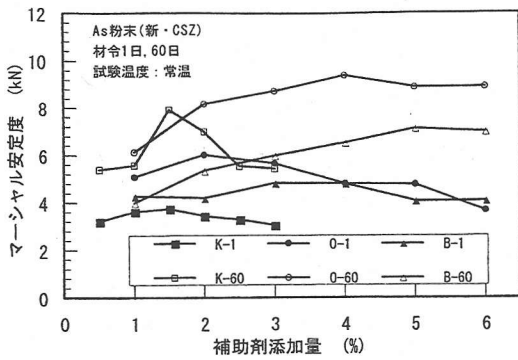


図-12 補助剤の添加量と密度との関係

に表-2に示す締め固め用補助剤を添加し常温下で締固めた。再生細粒アスファルト材は新規混合物にCSZ混合粉末材を混入して再材料化したものを用い、締固め用補助剤は3種類の液体添加剤を準備した。

補助剤の添加量と密度、マーシャル安定度との関係を図-12, 13に示した。オイル系、水系の補助剤を用いた場合、密度は、1.5~1.7g/cm³のほぼ一定の値を示し、添加量の多少が密度を増加させることに大きな期待はできない。一方、石油系の補助剤では添加量の増加に比して密度が約1.7g/cm³から約2.2g/cm³へと増加し、140°Cで加熱締固めた場合の密度と同値となる。マーシャル安定度は常温下での締固めであるが、概ね4kN以上の高い値を示し、補助剤添加の効果が確認された。さらに、図-13に示すように材令60日での安定度は材令1日のものと比して、1.5~2倍を呈した。この傾向は、特に補助剤の添加量が多くなるほど顕著にあらわれている。これは、補助剤中の揮発性成



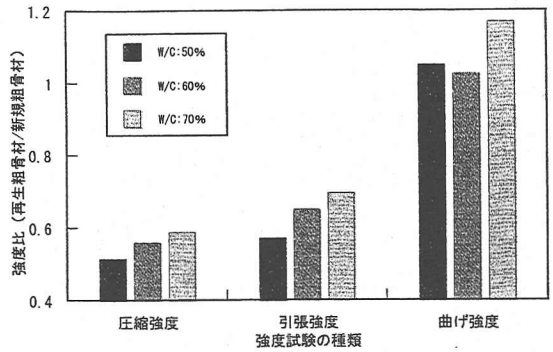
図一 13 補助剤の添加量とマーシャル安定度との関係

分が減少して粒子間同士の付着力が増したためと考えられる。いずれの補助剤を用いる場合も材令とともに高安定度を期待することができる。このことから、補助剤の最適添加量は最大安定度値付近と定め、これに常温下での容易な作業性などを加味して、石油系は1.5~2.0%、オイル系および水系は3.0~5.0%が望ましいと考えられる。

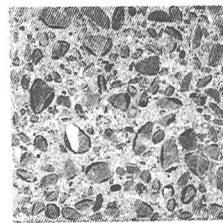
以上の結果から、再生細粒アスファルト材は締固め用補助剤を添加することにより、常温下においても十分な締固めが可能となることが判明した。

(3) 再生骨材のコンクリート用骨材への適用

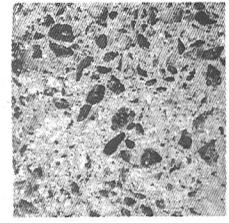
コンクリート用骨材はすでに自然石の枯渇から碎石の使用に移行してきたが、この碎石の供給量に不安が投げられつつある¹⁵⁾。本手法での再生粗骨材は、骨材表面に残留アスファルト膜が付着しているものの、骨材の原形をとどめているため、仕上がったコンクリートの用途に選択性を加味すれば再生骨材を適用することも可能になると考えられる。このため、再生粗骨材を用いたセメント・コンクリートの標準試験を試みた。試験は、水セメント比50%、60%、70%の3種類で行い、新規骨材使用時の圧縮強度は、それぞれ31.4MPa、26.5MPa、18.6MPaであった。これと再生骨材を使用した場合とのそれを比較した。この結果が、図一14である。これより、再生粗骨材使用のコンクリートの圧縮・引張り強度は新規骨材使用のものに比して約30~50%減少している。逆に、曲げ強度は再生骨材使用のものが大きい特性を呈している。これは骨材とセメントペースト間に存在する、いわゆる骨材表面に付着したアスファルトがこれらの強度に大きく関与していると推察されるが、これに関する明確な要因はまだ不明である。写真一4に再生粗骨材を使用したコンクリートの切断面を示したが、骨材の周囲にアスファルトがリング状にはほぼ均等厚に付着していることが確認できる。また、コンクリートの破壊面に位置する骨材周囲のアスファルトとセメントペースト部との付着性状には両者の相



図一 14 再生粗骨材を用いたコンクリートの標準試験



写真一 4 曲げ供試体の切断面



写真一 5 曲げ供試体の破壊断面

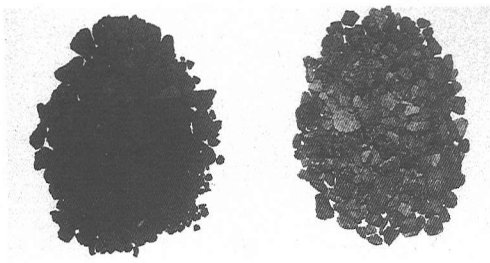
反する化学的影響によると見られる剥離的な特異な現象はなく、写真一5に示すように全般的に良好な付着の状態が観察された。しかし、中には破壊面の粗骨材表面で、アスファルトとモルタル面との付着の破壊現象が見られるものもあった。したがって、再生骨材のコンクリート用の骨材としての再利用は、仮設用コンクリートや低強度コンクリート材などの特定用途に限定した範囲内において活用できる材料と思われる。

5. 再生粗骨材の甦生化

アスファルト舗装発生材を再材料化する一方法を、これまで述べてきた。有効な資源の活用を考慮すると、より高精度に再材料化して広範な用途に供することについても検討を加えておく必要がある。このため、アスファルト舗装発生材中の粗・細骨材の甦生化についての検討を行った。骨材の甦生実験は、再材料化手法により回収した骨材を溶剤で洗浄することにより骨材を甦生する方法である。

(1) 骨材甦生用の溶剤

骨材の甦生実験に用いた洗浄溶剤は、従来使用されてきた有機塩素系溶剤の代替溶剤として、環境や人体への影響、作業性、溶剤の再生性などを考慮して、炭化水素系溶剤を選択した。本実験には、その中でも洗浄力が高く、引火点・発火点が比較的高い(73℃、559℃)、テクリーンN20(日本石油製、第3石油類)を使用した。



再生粗骨材 (洗浄前) 甦生粗骨材 (洗浄後)
写真-6 再生粗骨材と甦生化した骨材

(2) 骨材の甦生化手法

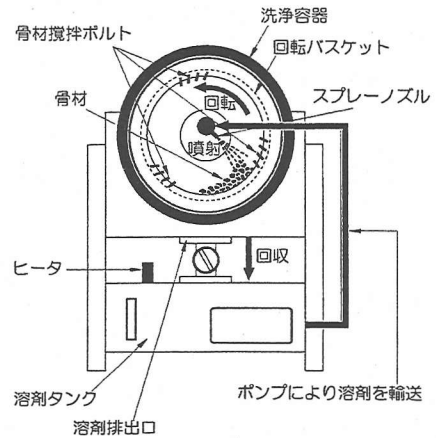
a) 手法と装置

本甦生化手法は、アスファルト舗装発生材の再材料化手法により分離回収した再生粗骨材(粒径2mm以上)の表面にまだ残留する付着物を炭化水素系洗浄溶剤(以下、溶剤)にて洗浄し、骨材生産当初の表面状態とするものである(写真-6)。

溶剤は、それ自体に骨材を浸漬することにより、骨材表面のアスファルトを溶解することが可能であるが、より効率的に洗浄を行う目的から、図-15に示すような骨材洗浄装置を試作した。本装置の特徴は、スプレーによる溶剤の噴霧とバスケットの回転による骨材の攪拌効果による機械的洗浄力により骨材表面付着物を細部まで除去するものである。また、洗浄溶剤は循環式であり、洗浄後は容器内を真空排気することで骨材表面を乾燥することができる。

b) 再生粗骨材の甦生化

再生粗骨材の表面に付着した薄膜状のアスファルトを溶剤で洗浄する本手法は、溶剤温度(洗浄温度)を上げることで洗浄効率が向上すると推測される。しかし、作業時の安全性や省エネルギーなどから、良好な洗浄効果が得られる最低限の温度とすることが望ましい。このことから、洗浄温度は上限を60℃、下限はアスファルトの軟化点性状を考慮し40℃と設定した。図-16は洗浄温度が40, 50, 60℃における洗浄効果を示したものである。60℃では残留付着物量が0.1%以下となる9分以上の洗浄で、生産当初の骨材と同等の甦生化粗骨材が回収できた。50, 40℃では、残留付着物量が0.2%付近で洗浄の限界となる傾向が見られる。このとき、骨材表面には、ほとんどアスファルトが付着していないが、循環する汚濁洗浄溶剤の影響により骨材表面は薄い茶褐色を呈している。そこで、骨材表面の付着物を適性時間で洗浄後、つづいて新規溶剤での再洗浄を1分間行った。この結果、洗浄温度50℃、洗浄時間15分、再洗浄1分の条件で骨材を洗浄した場合、60℃で9分以上洗浄したものと同等の洗浄効果が得られた。これらのことから、洗浄温度は60℃が適当であ



洗浄容器 (鋼板製円筒シェル)	直径500mm × 長さ500mm
回転バスケット (ステンレスパンチングメタル)	直径370mm × 長さ400mm
	厚さ0.5mm × 孔径3mm × ピッチ5mm
骨材攪拌ボルト	直径2.5mm × 長さ3mm
	10個 × 3列 × 3箇所
溶剤噴霧装置	スプレーポンプ
	スプレーノズル 3個
回転装置	ギヤモータ
	バスケット回転数 2r.p.m
溶剤タンク	容量 30ℓ
溶剤加熱装置	投げ込み式ヒータ
真空乾燥装置	真空ポンプ

図-15 再骨材洗浄装置

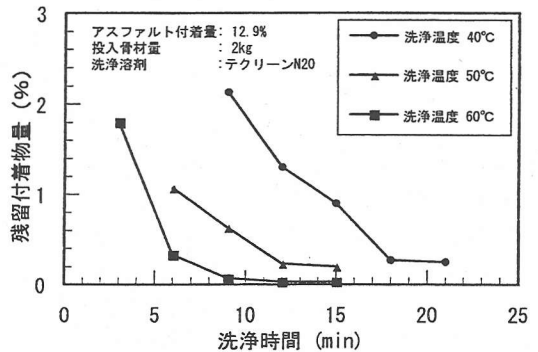


図-16 再洗浄温度の相違による洗浄結果

ると考えられるが、洗浄温度50, 40℃では、60℃とは異なり新規溶剤による再洗浄を行うことが好ましいと考えられる。

骨材の洗浄効果は、洗浄装置への骨材の投入量、ドラム(回転バスケット)の回転数、溶剤の噴射角などの要因に関係が深いと考えられる。骨材の投入量と洗浄効果との関係では、骨材投入量が多くなると洗浄効果は低下する傾向が見られた。一方、洗浄ドラムの回転数を増した場合には、これに伴う洗浄効果の向上は見られなかった。これは、洗浄ドラム内で骨材が滑り、充分攪拌されないことが原因と考えられる。これらのことから、骨材の洗浄効果は、骨材投入量、ドラム回転数、溶剤の噴霧角など相互の関係で最適値があると

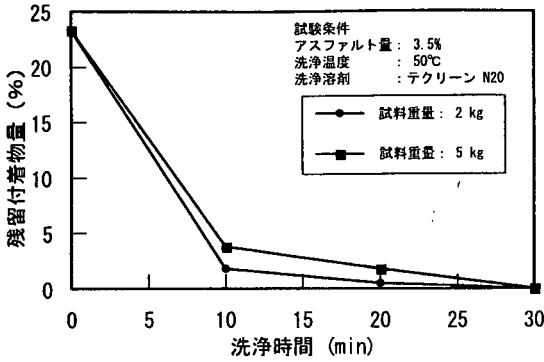


図-17 改質アスファルト付着再生粗骨材の甦生化

考えられ、これは、洗浄装置の規模にも影響されると考えられる。

他方、将来は排水性舗装をはじめとする改質アスファルト混合物の占める割合が増加することは必至であると考えられることから、これらの混合物から再生した粗骨材について、本甦生化手法の有効性を検証した。図-17は、改質アスファルト混合物から再生した粗骨材を骨材洗浄装置で洗浄した結果である。これより、改質Ⅱ型アスファルトが付着した骨材においても、本手法を用いることにより甦生化が可能であることが確認できた。

(3) 汚濁した洗浄溶剤の再生活用

洗浄溶剤は、骨材洗浄を繰り返すことにより、その洗浄能力が減衰する。常に未洗浄の再生骨材を洗浄し甦生する過程の溶剤使用回数を1回として、溶剤の連続使用可能回数を調べた。図-18は溶剤の繰り返し使用回数と残留付着物量との関係を示したものである。この過程で、5回目以降の使用からは、骨材表面に洗浄能力の低下に起因する未洗浄の残留物がまだ付着している傾向が見られ、二次洗浄もしくは新溶剤の使用が好ましいことが示唆された。

一方、本手法における洗浄溶剤として炭化水素系溶剤を選択した一理由は、汚濁溶剤を蒸留再生し、不純物を除去して再々同一溶剤を使用できる点である。このため、図-19の蒸留再生装置(綱東芝製)による溶剤の再生および洗浄溶剤としての再活用を試みた。繰り返し15回洗浄した後の溶剤を9 l/hの速度で蒸留再生した。この結果、汚濁した溶剤は、蒸留再生により93%を新溶剤として回収することができた。さらに、蒸留速度を低速にすることで、溶剤はより高い純度に回収が可能である。また、蒸留後に発生する残渣分は、その主成分が再生粗骨材の表面に付着したアスファルト分である。これは、前節で述べた再生細粒アスファルト材の補助剤あるいはアスファルト系材料の添加剤として再活用が期待できる。

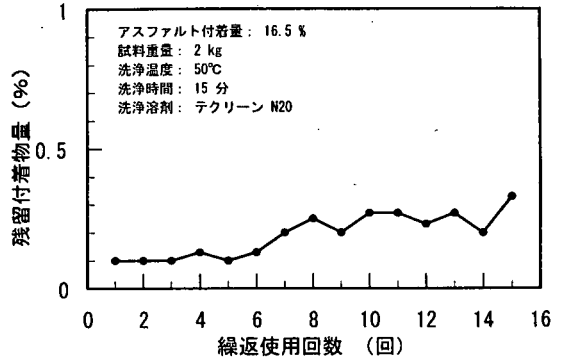
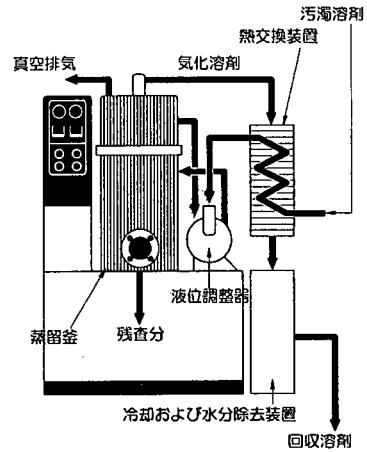


図-18 溶剤の繰返し使用回数が洗浄能力に及ぼす影響



機械寸法	800×800×1700 mm	使用蒸気圧力	1 - 3 kg/cm ²
蒸留溶剤	石油系溶剤	蒸気使用量	10 - 15 kg/h
蒸留能力	10 - 15 t/h	冷却水使用圧力	2 kg/cm ² 以上
ポンプ容量	0.75 kw	冷却水使用量	15 t/min
加熱方式	蒸気加熱方式	圧縮空気使用量	5 - 6kg/cm ²

図-19 溶剤蒸留再生装置

6. まとめ

本研究は増加しつつある建設系廃棄物のなかのアスファルト舗装発生材および種々の微粉末材の再材料化に関する一手法を提案し、つぎに再生材料の再利用および、骨材の甦生化までのアスファルト舗装発生材の一連のリサイクルについて検討を加えたものである。本実験結果からは次のことを明らかにすることができた。

(1)本再材料化手法は、アスファルト舗装発生材を容易に再材料化することが可能である。これは、母材となるアスファルト舗装発生材が、再生アスコン、再々生アスコン、改質アスコンなどの場合にも適用可能であることがわかった。

(2)本手法に用いる粉末材は、微細な粒子を保有する材料が好ましく、この粉末材には、コンクリート粉末材に限らず微粒子のスラグ粉末などの産業副産物や

火山灰などの粉末状廃棄物も適用可能である。加えて本手法は、普及している現有のアスファルトプラントを改良することなく適用できることが確認された。

(3)再生骨材は再度アスファルト混合物の骨材に利用可能と考えられ、特に回収した骨材で全材料を構成したアスファルト混合物の場合、マーシャル安定度値や動的安定度値は通常のその約1.2~4倍程度を示した。

(4)再生粗骨材の甦生化装置により、骨材はアスファルトが付着していない生産当初の状態まで甦生化できることがわかった。また、この装置は改質アスファルトが付着した骨材についても有効であるといえる。

(5)骨材洗浄により汚濁した溶剤は、蒸留再生することで繰り返し使用可能であることが確認された。

本研究の骨材再材料化手法、骨材の甦生化手法および再生材料の利用に関しては、かなり良い結果が得られたので報告したものである。しかしながら、やや多量に産出される細粒アスファルト材料は、この特徴といえる吸油性・防水性を生かした材料として、埋め戻し材料などに適用可能と考えられるが、さらなる用途開発も必要であろう。

本研究は、現状のアスファルト舗装発生材の再材料化手法が、再利用法であるとの観点から、骨材の甦生化までのリサイクル手法を試みた。良質の骨材不足、将来の骨材対策、環境問題(原石山の問題)、資源の有効利用等々、骨材に懸念される問題に対処したリサイクル技術として検討を加えたものである。

謝辞:本研究を遂行するに当たっては、建設資源リサイクル研究会(会長・本多淳裕博士、加盟会社45団体)の多大な援助を賜った。また、実験に際しては脇阪三郎氏(東亜道路工業・技術研究所)、目黒勝氏(新日鐵・名古屋研究部)、香川保徳氏(大林道路・技術部)、和木晴彦氏(京阪コンクリート工業・技術部)、田中瑞人氏(石川島播磨重工業・産業機械事業部)、石原秀夫

氏(東芝)、堀中俊治(村本建設・技術研究所)藤森章記氏(奥村組土木興業・環境開発事業本部)の方々の懇切な協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会:プラント再生舗装技術指針, 1993.
- 2) 奥野晴彦:建設事業における再生資源の活用, 第7回道路技術シンポジウム・道路建設における再生資源の有効利用, pp. 1~17, 1992.
- 3) 林 勉:道路建設副産物再利用の現状, 第7回道路技術シンポジウム, pp. 65~96, 1992.
- 4) 河野宏, 吉兼秀典:舗装廃材の再生利用の現状について, 土木学会論文集, 第390号, V-8, pp. 23~34, 1988.
- 5) 中村俊行:道路建設における再生資源の有効利用, 第7回道路技術シンポジウム, pp. 19~53, 1992.
- 6) 吉兼亨:アスファルトコンクリート副産物のプラントリサイクルの実態と問題点, 第7回道路技術シンポジウム, pp. 103~115, 1992.
- 7) 畑 実:コンクリート廃材の再生技術の改善, 土木施工, 27巻15号, pp. 103~109, 1986.
- 8) 久楽勝行:建設副産物の再利用の現状とその展望, 土木技術資料, pp. 32~39, 1992.
- 9) 鈴木義昭:再生加熱混合物の配合設計法, 第14回日本道路会議・特定課題論文集, pp. 188~190, 1981.
- 10) 佐野正典, 柳下文夫, 山田優:微粉末材による廃棄アスコンからの骨材の回収法について, 土木学会関西支部年次学術講演概要, V-19-1~2, 1993.
- 11) 阿部頼政, 南雲貞夫:新体系土木工学2 7 歴冑系材料, 技報堂, pp. 108~113.
- 12) 佐野正典, 柳下文夫, 山田優, 久利良夫:アスファルト混合物発生材の再材料化の一提案, 舗装, 29-9, pp. 17~21, 1994.
- 13) 吉兼秀典, 植田清, 松橋幸雄:再生合材を用いた東雲試験舗装の追跡調査結果, 土木技術資料, pp. 573~578, 1986. 11.
- 14) 川野敏行, 塩尻謙太郎:再生混合物の添加剤に関する研究, 道路建設, pp. 70~76, 1985. 10.
- 15) 江良誠至:骨材の需要と現状の問題点, 舗装, 30-11, pp. 4~9, 1995.

(1998. 6. 8 受付)

A TECHNIQUE OF REPROCESSING WASTE ASPHALT CONCRETE UTILIZING POWDERED MATERIALS

Yoshio HISARI, Masanori SANO, Fumio YAGISHITA and Masaru YAMADA

This report discusses the reprocessing of waste asphalt concrete and concrete dust into reusable materials. A new reprocessing technique is proposed first, then important factors of the technique are identified such as the mixing temperature and the appropriate amounts of additives. Next, the fundamental properties of asphalt compounds consisting of the reclaimed materials are examined. Consequently, the proposed technique has been found to be capable of producing reusable recycled fine or coarse aggregate easily from waste asphalt concrete. As films of asphalt remain on the surface of reclaimed coarse aggregate, the development of a method to remove the films was studied. It was found that the proposed technique restores the reclaimed coarse aggregate to its original as-new condition with no asphalt adhering to its surface.