

下水汚泥焼却灰をはじめとする微粉状産業副産物を活用した舗装材に関する検討

EXAMINATION OF RECYCLED PAVEMENT MATERIAL
FROM POWDERY WASTE AND WASTE ASPHALT CONCRETE

藤森章記*・佐野正典**

by Akinori FUJIMORI and Masanori SANŌ

1. はじめに

産業廃棄物の排出抑制、減量処理、再生利用の推進は、我が国の生活環境を保全するとともに経済活動を維持する上で必要不可欠である。これらの取組みや新たな技術開発の成果により、平成12年度における産業廃棄物の排出量は平成9年度から約800万t減少し、再生利用率についても45.4%と増加傾向にある。これらは循環型社会への移行が着実に進んでいることを示している。アスファルト舗装発生材に関しては、路盤材やアスファルト混合物としてほぼ完全に再生利用されているものの、機械破砕による粗骨材の細粒化など品質確保の面で問題が指摘されている¹⁾。

これらのことを背景に、微粉末状の産業廃棄物を利用したアスファルト舗装発生材の再材料化手法を検討してきた。この手法を活用することによって、細粒化の生じない原形状態に近い良質な粗骨材（以下、再生粗骨材）を回収することができた。しかしながら、再生粗骨材の分別過程で副産物として発生する細粒材（以下、細粒アスファルト材）の用途開発が検討課題として残った。このことから、細粒アスファルト材にセメントを添加して舗装材を作製する方法を試みた。この舗装材（以下、再生舗装材）による舗装体（以下、再生混合物）は透水性と併せて、ある程度の保水性を有していることから、都市部でのヒートアイランド現象の抑制を目的とした保水性舗装への適用も効果的であると考えられる。

本報は、再生舗装材の作製方法を検討するとともに、再生混合物の保水性舗装としての適用性を試験施工により確認したものである。

2. 再生舗装材の作製

2.1 作製方法および使用材料

再生舗装材の作製手法は図1に示すとおりである。140～180℃で加熱したアスファルト舗装発生材に微粉末材を添加して2～3分間攪拌混合する。この段階でアスファルト舗装発生材は固結力を喪失し、原形状態に近い再生粗骨材（写真1）と微粉末材にアスファルトが付着した細粒アスファルト材（写真2）に分離する。分別回収した粒径3mm未満の細粒アスファルト材が冷却される過程で、アスファルトがま

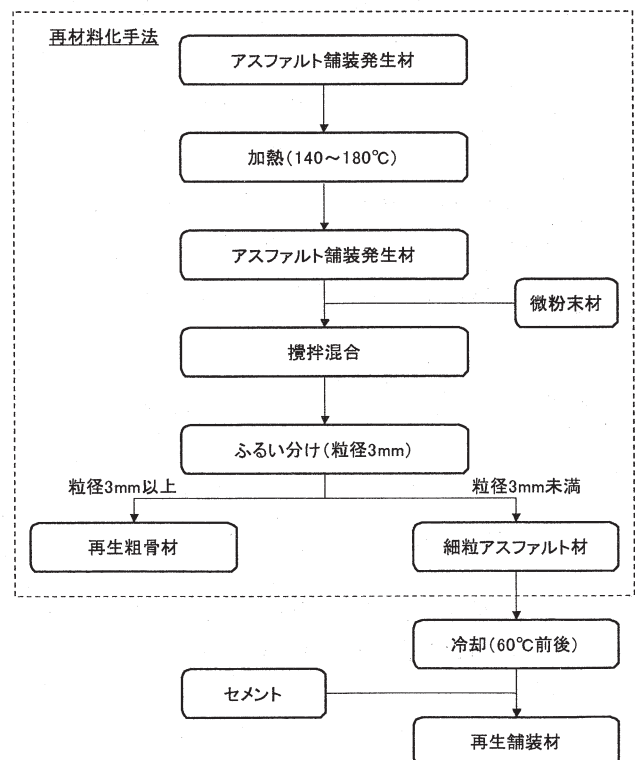


図1 再生舗装材の製造フロー

*奥村組土木興業(株)環境開発本部技術部技術開発課 (〒552-0012 大阪市港区市岡 3-9-2), **近畿大学教授 理工学部社会環境工学科



写真1 再生粗骨材

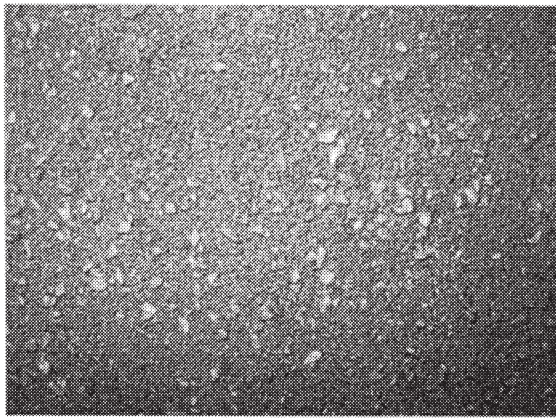


写真2 細粒アスファルト材

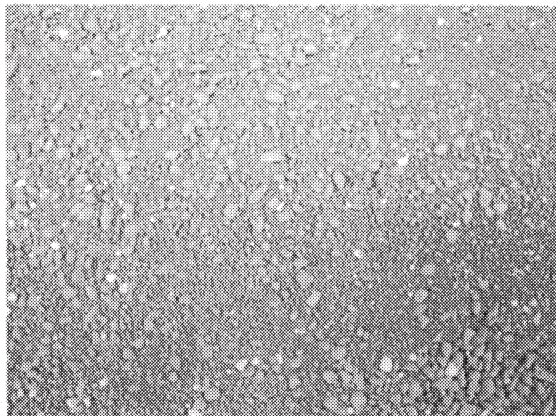


写真3 再生舗装材

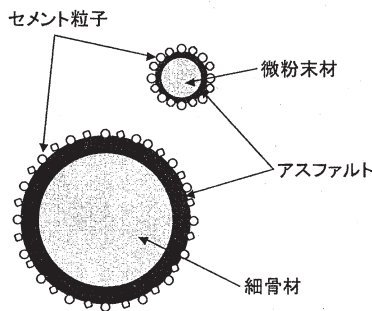


図2 再生舗装材の模式図

だ軟化状態である温度範囲においてセメントを添加して再生舗装材（写真3）を作製する。この再生舗装材は加水混合により凝結するため、常温での施工が可能となる。また、乾燥状態で保管することにより、ある程度の期間は品質が保持できると考えられる。一方、再生舗装材は図2の模式図に示すように骨材を被覆するアスファルトにセメント粒子が均等に付着している状態であることから、これを加水混合した再生混合物は効率の良い空隙形成が可能である。

本実験で用いる再生舗装材の製作では下水汚泥焼却灰を微粉末材に使用し、アスファルト舗装発生材に対する重量比で8%添加した。微粉末材の最適添加量は既報²⁾のとおり粉末粒子の比表面積から算出可能であるが、ここでは再生粗骨材の品質を損なわない範囲で細粒アスファルト材の回収量が最大となる添加量とした。セメントは早期交通開放を目的として超早強セメント（住友大阪セメント製、ジェットセメント）を選定した。また、アスファルト舗装発生材には同一配合の材料を準備した。これらの材料および方法で回収した再生粗骨材と細粒アスファルト材の重量比は、それぞれ40～45%、55～60%であった。

2.2 セメント添加量および添加時の細粒アスファルト材温度

セメントの添加量とセメント添加時の細粒アスファルト材の温度（以下、添加温度）の最適値を検討する目的でマーシャル安定度試験を実施した。試験体は表1に示す条件で125種類作製し、作製後室温（20℃前後）で24時間養生した。ここで、セメント添加量は細粒アスファルト材、加水量はセメント量との重量比である。

表1 試験体の種類

検討項目	作製条件				
	30℃	40℃	60℃	80℃	100℃
①添加温度 (細粒アスファルト材温度)	30℃	40℃	60℃	80℃	100℃
②セメント添加量 (細粒アスファルト材重量比)	4.0%	5.0%	6.0%	8.0%	10.0%
③加水量 (セメント重量比)	90%	100%	110%	120%	130%

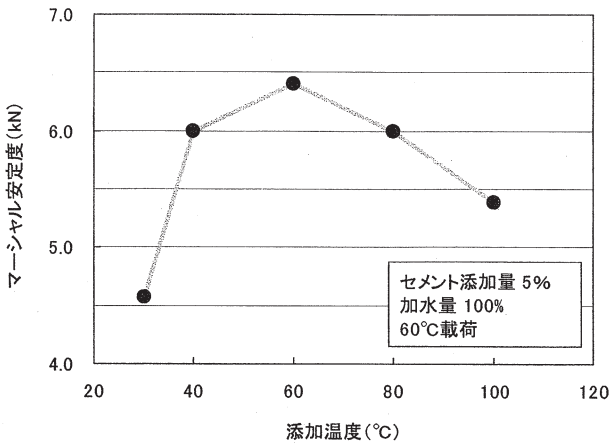


図3 添加温度と安定度との関係

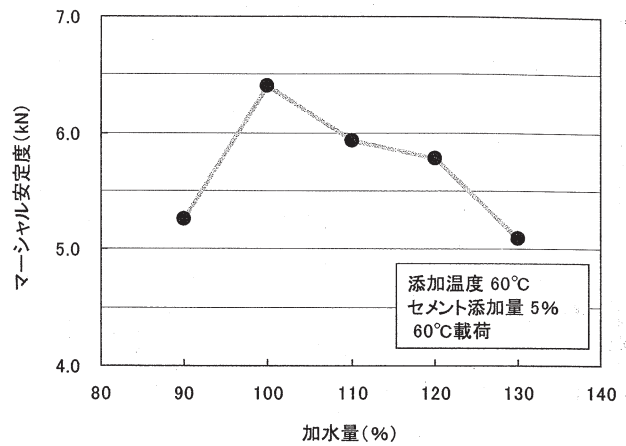


図5 加水量と安定度との関係

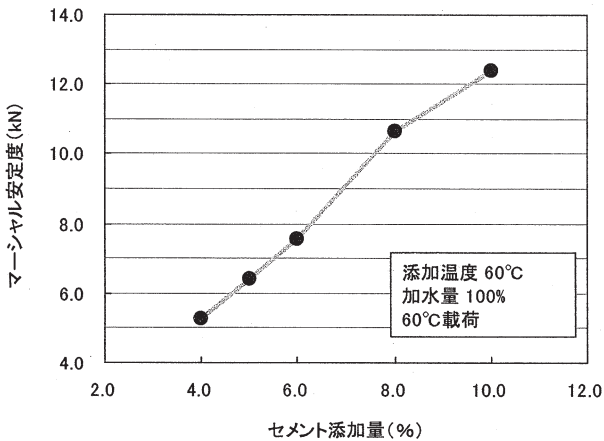


図4 セメント添加量と安定度との関係

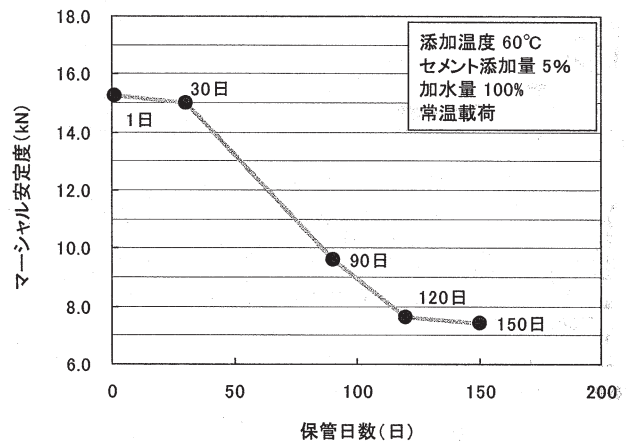


図6 保管日数と安定度との関係

図3はセメント添加量5%,加水量100%における添加温度とマーシャル安定度との関係である。これより,添加温度が60°Cでマーシャル安定度が最大となっている。他の作製条件での試験体についても同様の結果となったことから,セメントの最適添加温度は60°C前後であると判断した。

図4は添加温度60°C,加水量100%でのセメント添加量とマーシャル安定度との関係である。アスファルト舗装要綱では基層および表層用加熱アスファルト混合物のマーシャル安定度の基準値が4.90kNとされている。しかしながら,再生混合物はセメントを締結材とするためフロー値がアスファルト混合物より低下することを考慮して,判定基準値を6.00kNと設定した。実験結果から,基準値以上の安定度を呈する最小のセメント添加量が5%であったため,これをセメントの最適添加量とした。これまでに決定した添加温度60°C,セメント添加量5%で

の最適加水量は,図5の結果より100%であった。

これらの最適値で作製した再生混合物の主な性能は,単位体積重量1.96g/cm³,空隙率15.0%,透水係数3.61×10⁻²cm/s,保水量102kg/m³(水浸24時間後,空中で30分間放置)であった。また,再生混合物は加熱アスファルト混合物以上のマーシャル安定度を呈すものの試験体隅角部の強度がやや不足するため,骨材飛散や磨耗抵抗性の低さが懸念される。

2.3 保管による品質劣化

再生舗装材の締結材にセメントを用いたことから,長期間にわたる保管に伴うセメントの風化現象により品質の劣化が予測される。図6は防水を施した容器で1日~150日間保管した再生舗装材の常温載荷におけるマーシャル安定度の推移である。この結果から,およそ30日までの期間であればセメントの風化現象による影響が小さく,保存可能であることがわ

表 2 重金属類の溶出試験結果

項目	環境省告示第46号法			アベイラビリティ試験	
	土壌環境基準	下水汚泥焼却灰	細粒アスファルト材	下水汚泥焼却灰	細粒アスファルト材
カドミウム	0.01	定量下限値(0.001)未満	定量下限値(0.001)未満	0.003	定量下限値(0.001)未満
鉛	0.01	定量下限値(0.005)未満	定量下限値(0.005)未満	定量下限値(0.005)未満	定量下限値(0.005)未満
六価クロム	0.05	定量下限値(0.02)未満	定量下限値(0.02)未満	定量下限値(0.02)未満	定量下限値(0.02)未満
砒素	0.01	定量下限値(0.005)未満	定量下限値(0.005)未満	0.080	定量下限値(0.005)未満
総水銀	0.0005	定量下限値(0.0005)未満	定量下限値(0.0005)未満	定量下限値(0.0005)未満	定量下限値(0.0005)未満
セレン	0.01	定量下限値(0.005)未満	定量下限値(0.005)未満	0.014	定量下限値(0.005)未満

単位(mg/l)

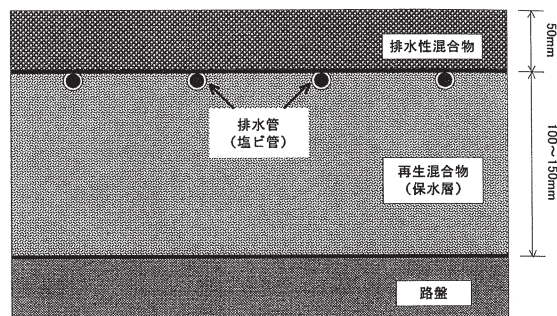


図 7 保水性舗装の断面構造

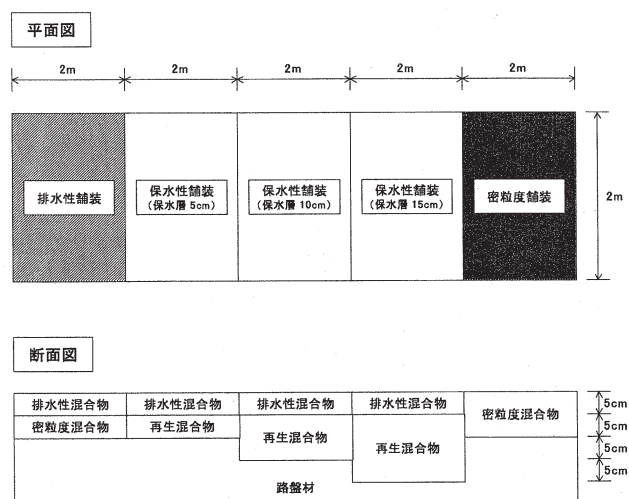


図 8 試験施工概要図

かった。

2. 4 重金属類の溶出試験

一般的に下水汚泥焼却灰を建設材料として使用する場合には、これに含まれる重金属類の溶出が懸念される。このことから、細粒アスファルト材について、表 2 に示す 6 種の重金属類に関して溶出試験を実施した。表中のアベイラビリティ試験はオランダで採用されている規格であり、酸性雨を想定した溶液を用いた溶出試験である。環境省告示第 46 号法の結果では下水汚泥焼却灰、細粒アスファルト材ともに定量下限値以下の値となり、土壌環境条件を満足している。しかし、アベイラビリティ試験では下水汚泥焼却灰のみにカドミウム、砒素、セレンについて溶出が確認された。このことから、細粒アスファルト材ではアスファルトが下水汚泥焼却灰を被覆することによって重金属類の溶出を抑制していることが推察される。また、再生混合物ではセメントの凝結による被覆効果も期待できるため、重金属類の溶出は微少であると推測される。これらのことから、下水汚泥焼却灰を使用した再生混合物は透水性舗装あるいは保水性舗装等への舗装材として適用可能であると考えられる。

3. 再生舗装材の保水性舗装への適用

3. 1 舗装構造

再生舗装材を保水性舗装の表層として用いる場合には、前述のように骨材飛散や耐摩耗性に問題が生じることが考えられる。これらのことから、従来の排水性舗装の基層部へ保水層として再生混合物を適用した。さらに保水層の上部に排水管を埋設し、図 7 に示す保水性舗装を設計した。これは表層より浸透した雨水のうち、保水層での越流分を排水管で処理することによって路面滞水を抑止する構造である。

3. 2 試験施工

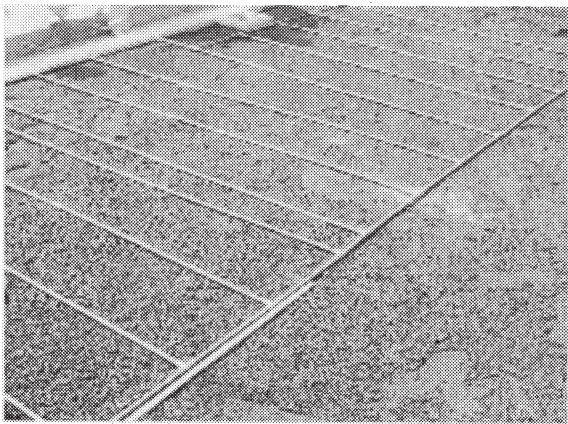
再生舗装材を用いた保水性舗装の施工性および路面温度の低減効果を確認する目的で、図 8 に示す幅員 3m、延長 10m の区画内に排水性舗装、排水性舗装、密粒度舗装を施工した。保水性舗装については保水層の厚さが 5、10、15cm の 3 種類とし、保水層への水の入出がないよう各舗装の境界を止水処理した。また、それぞれの舗装には路面から約 2cm の位置に熱電対センサーを埋設し、路面温度を連続的に測定記録した。



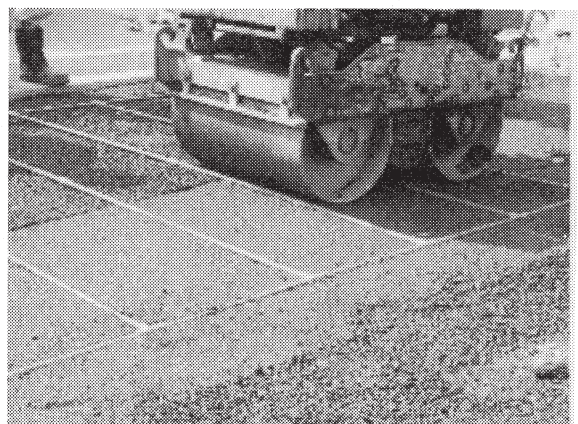
①再生舗装材の投入



②再生舗装材の混練

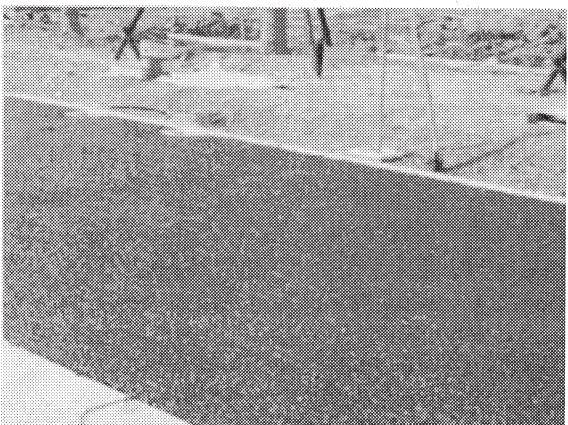


③排水管の設置



④振動ローラによる転圧

写真4 保水性層の施工手順



①施工完了状況



②越流水の排水状況

写真5 施工後の保水性舗装

保水性層の施工手順は写真4に示すとおりである。まず、袋詰した再生舗装材を路盤上に投入し(写真4①)、所定量の水を加える。これを混練用にロータ一部分を改良した小型耕運機によって混合し(写真4②)レーキ等で敷均す。ここに排水管を設置し

(写真4③)、小型振動ローラおよびビブプレートで転圧した(写真4④)。また、再生舗装材には超早強セメントを用いていることから、養生時間をとらず表層を施工した。施工完了後の状況は写真5に示す。

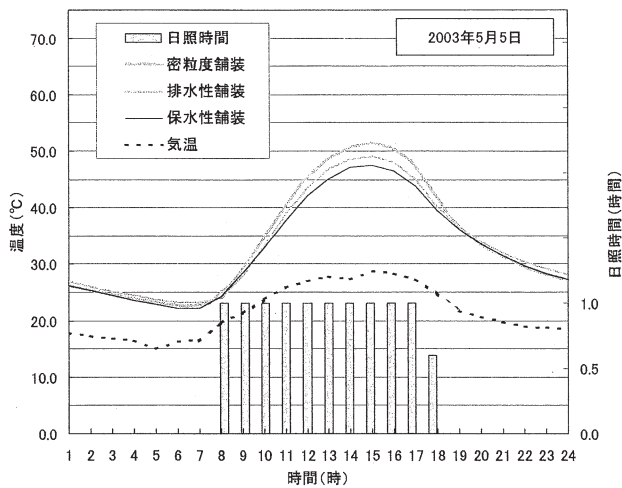


図9 試験施工箇所での路面温度記録

3.2 路面温度の低減効果

前述の試験施工箇所では2003年4月から9月までの6ヶ月間、路面温度を測定した。図9は雨量約16mm/日の降雨日から晴天が五日間連続した2003年5月5日における試験施工箇所での表層温度と外気温との記録である。この結果から、保水性舗装(厚さ10cm)は排水性舗装と比較して約2.5°C、密粒度舗装とは約3°C低い温度となった。全測定期間を通じて、晴天日についてはこれとほぼ同様の結果となった。また、保水層に用いた再生混合物の厚さによる温度特

性の差異はほとんど見られなかった。

4. まとめ

微粉状の産業副産物を活用した再生舗装材の製造および施工方法を検討した本研究からは次のことが明らかとなった。

- ① 下水汚泥焼却灰等の粉状産業廃棄物を利用したアスファルト舗装発生材の再材料化過程で発生する細粒アスファルト材を舗装材として再活用は効果的であるといえる。
- ② アスファルト舗装発生材に下水汚泥焼却灰を重量比8%で混合して再生舗装材を作製する場合、添加温度60°C前後、セメント添加量5%、加水量100% (セメント比) が最適値である。
- ③ 下水汚泥焼却灰は細粒アスファルト材として用いることにより、重金属類の溶出を抑制されることが認められた。
- ④ 再生混合物を基層として用いた保水性舗装は、一般的な密粒度舗装と比較して3~5°Cの路面温度の低減効果が見られた。

参考文献

- 1) 加藤仁：再生アスファルト混合物による試験舗装の追跡調査，舗装，vol. 29, No. 7, pp. 3-8 (1994)
- 2) 久利良夫・佐野正典・柳下文夫・山田優：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，土木学会論文集，No. 627, V-44, pp. 27-36 (1999)

(2004年6月25日受付 2004年9月10日受理)