

## 廃プラスチックの再利用技術に関する研究\*

酒井 晃二\*\*、佐々木 秀幸\*\*、大内 康弘\*\*  
小向 隆志\*\*、佐々木 陽\*\*、瀬川 晃児\*\*  
穴沢 靖\*\*、鈴木 一孝\*\*、藤原 智徳\*\*

岩手県内で排出されるプラスチック系産業廃棄物の有効利用方法として、アスファルト舗装などの道路構造体への応用を目標として基礎的な調査を行った。その結果、廃発泡スチロールをアスファルト舗装に添加する場合、最適添加量は 0.5~3wt%程度であり、アスファルト改質効果があった。また、主に廃発泡スチロールとガラス廃棄物から製造した骨材は、ガラス廃棄物添加量 30wt.%までの有害物溶出は基準内であり、低い熱伝導率に由来する保温性能を示すことが分かった。

キーワード：廃プラスチック、再利用、舗装道路、骨材

## Study of Reusing techniques for the Postindustrial Plastic Wastes II

SAKAI Koji, SASAKI Hideyuki, OUCHI Yasuhiro  
KOMUKAI Takashi, SASAKI Akira, SEGAWA Koji

ANAZAWA Yasushi, SUZUKI Kazunori and FUJIWARA Tomonori

We carried out the fundamental investigation of postindustrial expanded polystyrene (EPS) wastes in Iwate prefecture, the aims to apply for asphalt pavement. The results of Marshall Stability Test showed that EPS wastes were able to add to the asphalt composite within the limit of 0.5-3wt.%. And the asphalt composites including the EPS waste increased a toughness value of the toughness and tenacity test. The elution test depicted the aggregates made from EPS waste and glass polished sludge (<30wt.%) were safe under the regulation of the soil environment. And those aggregates kept temperature above the freezing point at -20 in 120 hours. This thermal ability assumed to base on the low thermal conductivity of the EPS.

Key words : plastic waste, reuse, paved road, aggregate

### 1 緒 言

平成 12 年度より「容器包装リサイクル法」<sup>1)</sup>が完全施行され、これまで対象外であった材質も含めたりサイクルを行わなければならない。しかしながら、一部の業界が再利用の流れを構築できているものの未だ社会全体システムとして確立されていない。また、不純物が混入したプラスチック類の再利用技術開発は困難であり、各種の試みはあるもののコストのかかる洗浄や高度の分別、既存用途への参入、新規用途開発など実用化は難しい状況にある。当所では平成 10 年度から 3 年計画で路盤材等土木資材への応用研究を実施している。平成 11 年度は主に、廃発泡スチロールを表層アスファルト路盤材用骨材、ガラス廃棄物との混練により製造した骨材の保温性材料としての適用試験を実施したので報告する。

### 2 実験方法

#### 2 - 1 圧縮・圧裂試験

我々はこれまでの研究からポリスチレン添加により、アスファルト混合物のマーシャル安定度が向上することを確認している<sup>2), 3)</sup>。しかしながら、ポリスチレン(PS)は常温でのロックウェル硬さがM60~75<sup>4)</sup>と硬い樹脂であり、一般に耐衝撃性が低いため、低温域でのアスファルト物性に悪影響を与える可能性が考えられた。

表 1 圧縮・圧裂試験条件

項 目	条 件
アスファルト混合物	密粒度アスコン(13F)
アスファルト量	5.7%
混合温度	175~180
突き固め温度	140~145
PS 添加量	0, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0wt%
試験温度	60、27 (室温)、-10
試料数	各 3 個

\* 廃プラスチック類用途開発研究(第2報)(地域活性化連携促進事業)

\*\* 化学部

そこで、低温域での圧縮試験および圧裂試験を実施した。圧縮試験は、円柱状のアスファルト混合物の平面で圧縮し、破壊荷重を測定した。圧裂試験は、円柱形試験片の側面を圧縮し破壊点を測定した。試験条件は表1に示した。

## 2-2 タフネス・テナシティ試験

これまでの研究<sup>2)</sup>から、PSがアスファルト混合物の強度向上に効果を示すことが分かったが、どのように効果が発現して

いるかは不明であった。そこで、ストレートアスファルトにPSを完全に溶解した試料を作成し、

その把握力(タフネス)と伸びおよび粘着力(テナシティ)を測定した<sup>5)</sup>。実験は図1に示



図1 タフネス・テナシティ試験持具

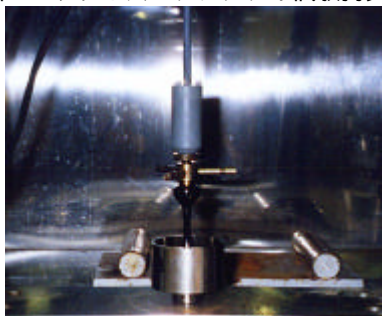


図2 タフネス・テナシティ試験の様子

す持具にアスファルトを溶かし入れ、25℃に冷却した後、テンションヘッドを引き上げた際の応力を測定した(図2)。

## 2-3 路盤材製造

PS廃棄物とガラス加工業より廃出された泥状ガラス廃棄物を乾燥後混練し、路盤材としての評価した。混練には、2軸押出機(Technovel社製KZW25-50MG、L/D=50)を用い、混練温度は160~180℃、速度は200~230rpmとした。混練後の試料は、ハンマークラッシャー(大塚鉄工所製HB-189)を用いて破碎し、5mm以上のものを試料とした。

## 2-4 溶出試験

プラスチック類は安定型処分場への埋立が認められ、溶出試験の義務はないが、路盤材への利用を考慮し、周辺環境への影響の有無を確認する目的から、環境庁告示第13号の試験方法に従って溶出試験を実施した。

有害金属分析は、原子吸光法(Varian製SpecterAA-880)を、揮発性有機化合物分析は、GC-MS(Hewlett Packert製HP-5972)を用いた。検出感度等の分析条件も環境庁告示第13号の試験方法に従った。なお、環境基準値は告示第46号に従った。

## 2-5 冷却試験

混練試料をC-25程度に粉碎し、塩化ビニル製円筒(内径150mm、厚さ3mm、長さ200mm)に所定の突撃回数で締め固め、冷却面より5cmおきの温度センサーにより温度を測定した。冷却温度は-20℃とした<sup>6)</sup>。廃棄物以外の骨材は通常道路、土木材料に使用されているものを用いた。

## 3 結果と考察

### 3-1 圧縮・圧裂試験結果

#### (1) 圧縮試験

結果を図3から5に示した。27℃(室温)での試験結果から、PSの添加量を増すに従い強度は大きくなった。10%添加した試料は、ブランク試料の1.3倍ほどの強度となった。これに対し、60℃での圧縮強度は、平均で29.02kNと室温域(平均値67.20kN)の半分ほどとなった。PSを10%添加した混合物は、ブランク試料のおよそ2倍の強度を示した。室温域では1.3倍程であることを考えると添加の効果が高温域で顕著になることが分かった。これに対し低温(-10℃)で、アスファルト混合物は固くなるため強度が高くなり平均で319.17kNを示したが、PS添加量1%を境に強度は低下する傾向を示した。これは、PSがもろい材料であるため過剰添加は低温域での物性を低下させることになる。

#### (2) 圧裂試験結果

圧裂強度は、圧縮荷重を線で受けることから圧縮強度の1/10程の値となったが、傾向は圧縮強度とほぼ同様に高温域での強度改善の効果が大きく、低温域では小さい傾向であった。圧縮試験では1%を境に強度が低下したが、圧裂試験ではPSの添加量による効果はなかった。60℃での圧裂試験において、高い値を示すほど耐流動性に優れると評価される。PS添加量1%の場合のみがブランク試料よりやや低い値を示したのを除けば、他は全て高い値を示した。このことから、PSの添加はアスファルト混

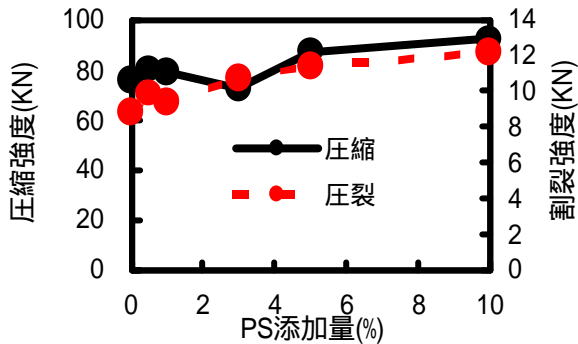


図3 室温 (27 )における強度

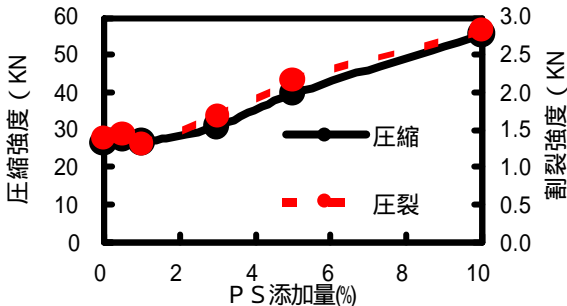


図4 60 における強度

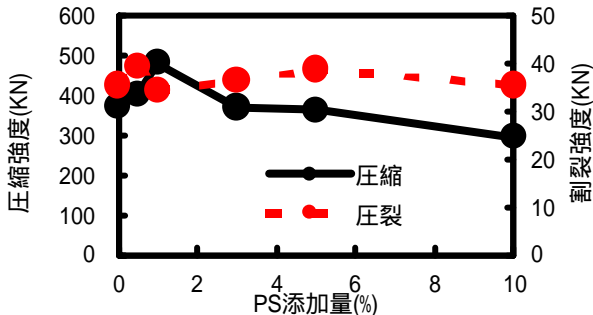


図5 -10 における強度

合物の耐流動性を高めるための有効な手段となりうることを示唆された。

### (3) 添加の効果と最適添加量

圧裂強度比(耐流動性評価)について検討した結果を図6に示した。これは、0における圧裂強度を60における圧裂強度で除して求められるが、本試験においては-10の測定値を用いて算出した値を圧裂強度比とした。圧裂強度比が大きいものはわだち掘れ量が大きく、圧裂強度比が小さいものはひび割れが発生しやすいという相関性を持っている。本実験の場合、ポリスチレン(PS)添加量0.5%のとき、圧裂強度比は最大値を示し、PS添加量が増えるに従い圧裂強度比は小さくなった。PS添加量10%の混合物においては、ブランク試料の5割程度まで圧裂強度比が減少する結果となった。このことより、添加量は5%以下とすることが適当であると考えられた。PSの最適添加量は、圧裂強度比の目標値20~30の範囲検討することが適切である。なお、PSブランク試料での圧裂強度比は25.5であり、先に述べた目標値のほぼ中央値に位置している。よってブランク試料の圧裂強度比を基準

再利用:

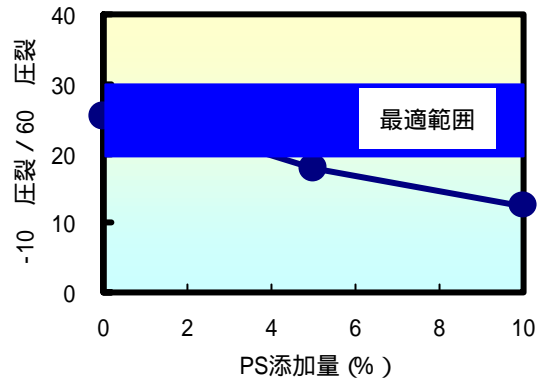


図6 耐流動性評価結果

値とすれば、圧裂強度比の目標値(基準値 $\pm 5\%$ )を満足する3%がPS添加量の上限であると考えられる。

### 3-2 タフネス・テナシティ試験

試験結果を図7に示した。PSの添加によってタフネス、テナシティともに上昇し添加の効果が確認された。特に0.5%添加時にブランク試料の約1.5倍の値が得られた。しかしながら1%以上添加した場合、改善効果は20~30%に低下することから、1%以上のPS添加はタフネス・テナシティの改善に効果がないことが分かった。なお、これまでの研究<sup>3)</sup>から、アスファルト混合物に骨材状のPSを添加した場合、3%以上の範囲で強度が50%以上改善されることが明らかになっている。本試験の結果アスファルト自体の改質効果は20~30%であり、PS添加の効果はアスファルトのタフネスとテナシティの改善によるものだけではないと考えられた。また、PSを添加した混合物はPSが完全に溶解しておらず、骨材とアスファルトの密着性の改善によってアスファルト混合物の強度が増加したと推測された。また、PSの添加はテナシティに比べタフネスの改善効果大きいことが分かった。市販のアスファルト改質剤の主成分はエラストマーであり、ゴム様の物性を示してテナシティ改善効果が大きい。今後は、さらに改質効果を向上させるためテナシティ改善のための添加方法を検討する予定である。

### 3-3 路盤材試験

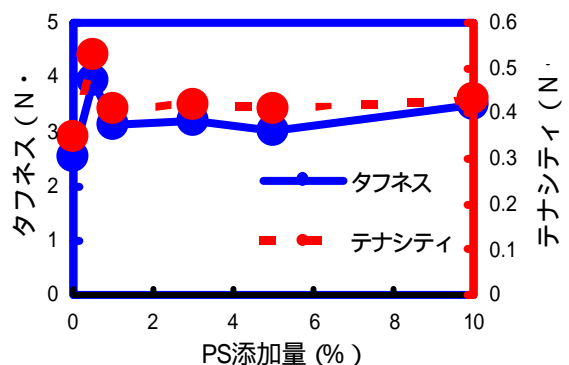


図7 タフネス テナシティ試験結果

(1) 溶出試験結果

溶出試験の結果、試作した路盤材から、揮発性有機化合物類については土壤環境基準を超過する溶出量は検出されなかった。しかしながら、ガラス研磨汚泥から基準を超過する鉛が溶出した。PSを30wt%程度で混練した場合は、環境基準値を超える有害物を溶出物しなかった。

表2 溶出試験結果

分析項目	PS/GS [wt%]				土壤環境基準
	100/0	70/30	50/50	0/100	
カドミウム	-	-	-	0.13	10
鉛	0.77	5.52	16.66	117.4	10
6価クロム	1.28	3.72	6.12	16.57	50
全水銀	0.01	0.01	0.02	0.02	0.3
ジクロロメタン	-	-	-	-	20
テトラクロロメタン	-	-	-	-	2
1,2-ジクロロエタン	-	-	-	-	4
1,1-ジクロロエチレン	-	-	-	-	20
cis-1,2-ジクロロエチレン	-	-	-	-	40
1,1,1-トリクロロエチレン	-	-	-	-	1000
1,1,2-トリクロロエタン	-	-	-	-	6
トリクロロエチレン	-	-	-	-	30
テトラクロロエチレン	-	-	-	-	10
1,3-ジクロロプロペン	-	-	-	-	2
ベンゼン	0.1	-	-	-	10

単位 ; ppb , ; 未検出

(2) 冷却試験

図8に-20℃で120時間冷却後の結果を示した。軟弱路盤または路床への配合を想定し、粘土に対する廃PS骨材の配合量を検討した。その結果、廃PS骨材を70vol.%混合した場合、上面から10cmの位置は氷点に到達せず、氷点下20℃前後にあっても厚さ10cm程度で凍結を防止

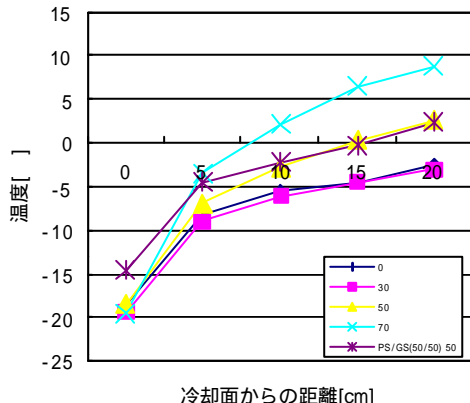


図8 冷却試験結果

できることが分かった。50vol.%混合した場合は、上面から15cmの位置に氷点は到達せず、30vol.%混合では混合の効果は見られなかった。また、ガラス研磨汚泥(GS)を50wt.%混練した廃PS骨材(PS/GS=50/50)を粘土と50vol.%の割合で混合した場合も廃PS骨材とほぼ同等の値を示した。層の熱伝導率が凍上現象に深く関係する

7)ことは知られており、熱伝導率 0.0872kcal/mhK の廃PS骨材を(通常砕石は2.52<sup>8)</sup>)粘土層に混合するということは系全体の熱伝導率を小さくする。このため、図のような結果に至る一因になっているものと考えられた。

4 結 言

廃PSを添加したアスファルト混合物の圧縮・圧裂試験の結果、廃PS添加は耐流動性を高めるための有効な手段となり、添加量は3%が上限であると考えられた。タフネス・テナシティ試験の結果、廃PSの添加はアスファルト改質効果があることが分かった。廃PSとガラス廃棄物から製造した骨材は、ガラス廃棄物添加量30wt.%までの有害物溶出量は基準内であり、冷却試験から低い熱伝導率に由来する保温性能を示すことが分かった。今後は実舗装試験を行い耐久性、施工性を調査する予定である。

本研究を推進するにあたり、アスファルト混練物試験等についてご指導、ご助言をくださいました秋田県工業技術センター加藤主任専門研究員に感謝いたします。

参考文献

- 1) 詳しくは、(財)日本容器包装リサイクル協会HP (<http://www.jcpa.or.jp/>)
- 2) 酒井, 佐々木ら, 岩手県工業技術センター研究報告6, 65-68(1999)
- 3) 大沼, 佐々木, 藤原, 第23回日本道路会議一般論文集(C)舗装部会, 136-137, 平成11年
- 4) 大阪市立工業研究所編, プラスチック読本, 主要熱可塑性樹脂の性能一覧表I, プラスチックエージ
- 5) (社)日本道路協会編, 舗装試験法便覧, pp456, 丸善(1999)
- 6) 酒井, 中根, 佐々木, 藤原, 成形加工シンポジウム'99, P30(349)
- 7) 例えば、土の凍結 - その理論と実際 -, 土質工学会編, (社)土質工学会
- 8) 化学便覧 基礎編II, 日本化学会編, 丸善