廃プラスチックの舗装材としての利用*

佐々木秀幸**1、藤原忠司**2、酒井晃二**3、大沼一人**4、中根健**5

Utilization of Plastic Wastes for Pavement Materials.

Hideyuki Sasaki, Tadashi Fujiwara, Koji Sakai, Kazuto Ohnuma, Ken Nakane

The new recycle methods of expanded polystyrene (EPS) waste which was used for anti-frost layer (Ⅰ) or asphalt mixture (Ⅱ) were investigated. The new methods used with EPS were not different with general construction methods. The method (Ⅰ) improved the frost heave and CBR value. The method (Ⅱ) raised marshall stability value and wheel tracking value with low-cost.

1. 緒 言

近年廃棄物処理問題に対する関心は高まりを見せており、中でもプラスチック製品の廃棄物については社会的にも注目を集めている。

プラスチック廃棄物の再資源化については様々な技術が開発され、既に実用化されているものもある。しかし、廃棄物全体から見るとまだ少量でしかなく、大部分は焼却あるいは埋め立てられているのが現状である。これは、再資源化したプラスチックの物性が劣ることや廃棄物の回収・分別・洗浄に多くのコストがかかるためと考えられる。

その中で高度な分別技術を使わず大量消費が可能な方法として、プラスチックをアスファルトに添加する研究¹⁾⁴⁾や路盤材に利用する研究^{5),6)}が行われている。

本報告では、各種プラスチック廃棄物を寒冷地のアスファルト層用添加材に利用する方法と、断熱性を利用して路盤材として凍上抑制層に利用する方法について試験を行った。その結果舗装工事における従来工法を変えることなく、機能性舗装体を得る基本技術が開発できたので報告する。

2. 室内試験方法

2.1 アスファルト層への利用

(1) 廃プラスチックの骨材試験と添加の効果

異物を多く含むために単純再生が困難な第1表に示す

*平成14年11月7日 本会第109回例会において発表

**1 岩手県工業技術センター科学部

**2 岩手大学工学部建設環境工学科

**3 岩手県環境保健研究センター地球科学部

**4 岩手建行

**5 JR 東日本

平成14年2月25日受理

6種類のプラスチックをアスファルト混合物の表層材に利用するために、粉砕物の骨材試験を行った。なお、骨材試験のうち粘土塊質量試験、すり減り減量試験、軟石量試験は試料の性状を勘案し除外した。

また、アスファルト混合物用砕石の5wt%と10wt%をプラスチックで置き換えてマーシャル安定度試験⁷⁾を実施した。アスファルト添加量は5.0~7.0%の5種類で行った。この試験結果から添加による効果が現れた廃プラスチックについて(2)以降の試験を行った。

第1表 使用したプラスチック廃棄物

プラスチック名	排出企業業種	排出形態
PVC (粗粒)	リサイクル業	電線廃棄物
PVC (細粒)	リサイクル業	電線廃棄物
PET	包装容器製造業	PETボトル
PMMA	成形加工業	ランナー
PS	成形加工業	成型不良品
EPS	リサイクル業	魚箱

(2) 高温・低温域での試験

マーシャル安定度を向上させる効果の一番大きかった発泡スチロール減容品(以下EPSという)について、高温と低温域での圧縮試験および圧裂試験を第2表に示す条件で実施し最適な添加量を検討した。

第2表 廃プラ添加アスファルト混合物の圧縮・圧裂試験方法

使用アスファルト混合物	⑤密粒度アスコン (13F)
アスファルト量	5.70%
混合温度	175~180(℃)
突き固め温度	140~145(℃)
廃プラ (EPS) 添加量	7号砕石に対し0.5、1.0、3.0、5.0、10.0%の6種類
試験温度	60℃、27℃(常温)、-10℃の3種類
試験個数	3個/配合・温度

(3) 滑り抵抗測定試験

廃プラスチックをアスファルトに添加すると摩擦係数

が減少する可能性があるため、試験的に施工した EPS 添加アスファルト舗装面の滑り抵抗値を測定した。

(4) 市販アスファルト改質剤との併用試験

アスファルト混合物に改質剤を添加する目的に耐流動性の向上があるが、積雪寒冷地域での利用を考えると、耐摩耗性の向上も重要である。そのため 7 号碎石の重量に対し EPS 添加量を 3% とし改質剤を併用した。改質剤は改質 I 型であり、アスファルトに対しスチレンーブタジエンゴム（以下 SBR という）量として 1~5 重量% を添加した。配合条件を第 3 表に示す。

混合物の基本特性を把握するため、マーシャル安定度試験の他に、耐水性評価のため水浸マーシャル試験、骨材飛散抵抗性評価のためカンタブロ試験、耐流動性評価のためホイールトラッキング試験、耐摩耗性評価のためクロスチェーンによるラベリング試験(往復チェーン型)を実施し最適な配合を決定した。

第 3 表 EPS と SBR の配合条件

配合 番号	添加量(wt%)				摘要
	EPS 3	1	SBR 3	5	
A	—	—	—	—	ブランク
B	—	●	—	—	SBR のみ
C	—	—	●	—	
D	—	—	—	●	
E	●	—	—	—	EPS のみ
F	●	●	—	—	併用
G	●	—	●	—	
H	●	—	—	●	

2.2 凍上抑制層への利用

(1) 凍上量測定試験

試験には第 1 図に示す発泡スチロール減容品をプレスした板材を粉砕し骨材状にしたもの（以下 EPS 骨材という）を使用した。この材料の凍上抑制効果を把握するため、凍上性土壌である自然含水比 28.4% の粘土に EPS 骨材を配合して凍上試験を行った。供試体は $\phi 15 \times 12.5\text{cm}$ とし、突固め後載荷板によって上面から負荷を与え、底面から吸水させながら、凍結融解試験機⁸⁾により、 -10°C までの凍結工程 24 時間、さらに $+10^\circ\text{C}$ までの融解工程 24 時間の温度履歴を与えた。凍結開始から 2 時間ごとに 12 時間、さらに 12 時間後の凍上量を測定し、融解開始から 2 時間ごとに 12 時間、さらに 12 時間後の沈下量を測定した。

(2) 冷却試験

EPS 骨材の断熱効果を調べるために冷却試験⁹⁾により凍結深さを測定した。供試体は $\phi 15 \times 20\text{cm}$ とし、 $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室内で、側面および底面は発泡スチロールで断熱し、上面からのみ -20°C で冷却させた。供試体上面から 5cm ごとに熱電対を設置し 120 時間後までの温度変化

第 1 図 EPS 骨材

を測定した。

(3) CBR 試験

EPS 骨材を混合した凍上抑制層の支持力は、JIS A 1211 および JSFT 721 に定められている CBR 試験によって評価した。凍上抑制層は、路床の一部として設計されることから、粘土系混合物の支持力は CBR によって評価した。

3. 室内試験結果と考察

3.1 アスファルト層への利用

(1) 廃プラスチックの骨材試験と添加の効果

プラスチックの単位容積質量は $0.43 \sim 0.64 (\text{kg/l})$ で、市販の人工骨材の $1.5 (\text{kg/l})$ に比べて小さいためアスファルト混合物を製造する際、碎石と均一混合できない可能性がある。

扁平な骨材の含有量を測定する形状試験の結果、板状破砕物が $11.5 \sim 34.4\%$ となっており基準の 10% を超過した。安定度試験結果は、硫酸ナトリウム溶液の結晶圧による破砕物がほとんどなく良好であった。これはプラスチックが吸水しないことと微細な亀裂がないことが影響していると考えられる。

各種プラスチックを添加したアスファルト混合物の破壊荷重を示す安定度を第 2 図に示す。道路舗装の安定度

第 2 図 マーシャル安定度の違い (As=6.0%)

第3図 アスファルト混合物の拡大写真（左：PS 右：EPS）

の基準値は 4.9 (kN) 以上であるため、すべての混合物で基準を満たしている。しかし、PVC と PET を添加すると安定度が低下し、PMMA、PS および EPS では増加した。アスファルトは 180℃で骨材と混合しているため、すべての樹脂は軟化しているが溶融していない温度で混合したことになる。強度の違いはアスファルトとプラスチックの接着性によると考えられる。

同じポリスチレンでも板状のスチレンの粉砕物 (PS) と発泡スチロール半溶融品 (EPS) ではマーシャル安定度試験結果に大きな違いが生じた。2つの混合物の顕微鏡写真を第3図に示す。写真の黒い部分が PS であり、PS 配合アスファルト混合物はアスファルトの分離が生じているのに対し、EPS 添加混合物は分離が生じていないことが分かる。EPS は加熱による溶融速度が速いため、アスファルトが分離せず安定度も高くなったと考えられる。なお、摩擦熱で溶解するために残存する気泡がアスファルト混合物に入れても残っていることも特徴である。

以上の結果からこれ以降の試験は EPS のみで実施することとした。

(2) 高温・低温域での試験結果

60℃での圧裂強度と圧裂強度比 (0℃における圧裂強度/60℃における圧裂強度) について検討した結果を第4図に示す。60℃での圧裂強度が高い値を示すほど耐流動性に優れると判断できるので、EPS の添加は混合物の耐流動性向上に有効であると思われる。しかし、耐流動性が向上するほど混合物のひび割れが起きやすくなる。

また、圧裂強度比が大きいものはわだち掘れが大きく、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⁷⁾。EPS 添加量 1(%)が圧裂強度比の最大値を示し、以後、EPS の添加量が増えるに従って圧裂強度比は下降し、10(%)の EPS 添加混合物においては、ブランク試料の 2/3 程度まで圧裂強度比が減少する結果となった。以上の試験結果からひび割れの発生しやすい寒冷地では EPS 添加量は 5%以下とすることが必要と考えられる。

第4図 耐流動性評価結果

(3) 滑り抵抗測定試験

EPS 添加アスファルト舗装面の滑り抵抗測定結果を第5図に示す。基準値の 65 は未通行部でも表面が少し削られた通行部においても満たしており、通常の舗装面と同様であった。このことから EPS 添加によるアスファルトの滑りは発生しないと考えられる。

第5図 滑り抵抗試験結果

(4) 市販アスファルト改質剤との併用試験結果

市販の SBR と併用して行った水浸マーシャル試験結

果を第6図に示す。EPSのみを用いた場合残留安定度は低下し耐水性に劣ることが分かった。しかし、SBRを併用することで、残留安定度の低下を抑えることができた。

第6図 水浸マーシャル安定度試験結果

カンタブロ試験結果を第7図に示すが、SBRを用いた場合、3(wt%)以上添加することで損失率が抑制され、EPSのみを用いた場合では、標準配合よりわずかに損なわれる結果となった。だが、EPSとSBRを併用した場合には、EPSの使用量が3(wt%)以下であれば、SBRのみを用いた場合よりも損失率の抑制効果が大きいことが分かった。

第7図 カンタブロ試験結果

ホイールトラッキング試験およびチェーンラベリング試験結果を第8図に示す。EPSの混入量を増すごとにDS値も向上しており、圧裂試験結果を裏付けることにな

第8図 DS値とラベリング試験結果

った。なお、チェーンラベリング試験結果は、標準配合と比較し、同等あるいは優れているという結果が得られた。このように寒冷地においても改質1型と併用することによりEPSを添加したアスファルト混合物は実用に耐えらると思われた。

3.2 凍上抑制層への利用

(1) 凍上量測定試験結果

第9図に示すように粘土単独の場合、凍上および沈下量ともに最も大きい、EPS骨材の混合割合が大きくなるに従って凍上・沈下量が少なくなり、70%混入ではほとんど凍上しなかった。

第9図 凍上量測定結果

(2) 冷却試験結果

第10図は、冷却試験120時間経過後の各点の温度を示したものである。粘土単独および比較用の材料の場合、凍結の及ぶ位置が非常に深い。粘土系混合物では、EPS骨材の混合割合の増加に伴い、凍結の及ぶ位置が浅くなっており、50%混合で層厚が半分ほどで良い。なお、比較用のC-40や砕砂と比較すると明らかな断熱効果が確認される。

第10図 冷却試験結果

(3) CBR試験結果

路床の支持力として CBR が 3% 以上必要であるが、第 1 1 図の粘土系混合物の場合、ESP 骨材を 30vol% 以上混合したものについては望まれる支持力が確保でき、70vol% 混合した試料は路盤の基準を上回った。このことから、廃 EPS 骨材は、軟弱な路床の改良機能を持つと考えられる。ただし、80vol% 混合と EPS 骨材単独については締固めが悪くなり支持力が低下した。

これらの結果から EPS 骨材を路床に混合することにより断熱効果により凍上を抑制すると共に支持力を向上させることが出来ると考えられる。

第 1 1 図 CBR 試験結果

4. 実舗装試験と結果

4.1 アスファルト舗装

室内試験の結果から、実舗装試験はアスファルト混合物の 7 号砕石の重量に対して粒状の EPS を 3 (wt%) 添加し、併せて SBR をアスファルトに対して 3 (wt%) 添加して行った。舗装工事の断面を第 1 2 図に示す。混合物は積雪寒冷地用⑤密粒度アスコン (13 F) と②密粒度ア

スコン (20) を使用し、基層と表層に分けて舗装し、舗装工事における作業性を評価すると共にわだち掘れ等の経年変化を観察した。

プラントでは EPS をポリエチレン製の袋に入れて計量したものをそのままウェットミキシング工程に投入したが高温での混合によって袋、EPS がアスファルト混合物に均一に分散され高強度で安定性のよい混合物が得られた。なお、EPS が半溶融体であるため静電気の発生も少なく作業性は良好であった。なお、舗装作業は通常のアスファルトフィニッシャーで行ったが通常混合物との差は発生しなかった。

施工場所はアスファルトプラントの取り付け道で、大型車両がブレーキをかける場所であったが 1 年半経過しても割れやわだち掘れは発生していない。しかし、第 1 3 図のように表面の摩耗により EPS 部分が白く見えることが分かった。外見を考えると基層に使用することも検討する必要がある。

第 1 3 図 アスファルトの摩耗状況
(左: EPS 混入 右: 通常品)

4.2 路盤材への利用

室内試験の結果では EPS 骨材を 70vol% 混合したものの成績が良かったが、混合不良となる懸念があるため混

第 1 2 図 アスファルト舗装断面図

合率は 30vol% と 50vol% で凍上抑制層の実舗装試験を実施した。試験は 4 工区に分けて実施し、EPS 骨材を混合しない工区も試験した。4 工区の工法は次のとおりで舗装断面を第 14 図に示す。

A 工区	B 工区	C 工区	D 工区	厚さ
ゴム入り透水性 A s 舗装				20
透水性 A s 舗装				40
				100
砕石	廃プラ 50% 混合	廃プラ 30% 混合	廃プラ 100%	100
路床				200

第 14 図 凍上抑制層工事の断面

A 工区：通常の砕石 40cm（対照区）

B 工区：廃プラ骨材 50vol% 路床と混合 30cm + 砕石 10cm

C 工区：廃プラ骨材 30vol% 路床と混合 30cm + 砕石 10cm

D 工区：廃プラ骨材 100% 混合なし 10cm + 砕石 10cm

第 15 図のようにスタビライザーによる骨材の混合は容易に可能で当初想定された比重差による骨材分離は発生しなかった。なお、断熱性のみを考慮すれば完全な断熱層が作成される D 工法が優れているが、骨材のみでは路盤の支持力が得られないため実用的ではない。実際骨材層の上部に砕石（C40）を 10cm 敷いた上部は運搬車両が往来することが困難であった。これに対し B、C 工区は基礎試験同様支持力が高く、運搬車両が上部を運行してもめりこみは発生しなかった。このように本工法は従来舗装業者が実施している作業と同様に実施できることが実証された。

5. 結 言

廃プラスチックの中でもポリスチレンを寒冷地用舗装の材料に利用する研究を行い以下の結果を得た。

- 1) 空気を含む EPS を添加することによってアスファルト混合物の安定度、耐流動性を最もよく改善できるが、添加量は 7 号砕石に対して 5wt% 以下が望ましい。
- 2) EPS を添加することによって滑る危険性はなく、寒冷地で使用するためには SBR を併用することが望ましい。

第 15 図 EPS 骨材の混合状況

- 3) 表面の摩耗により EPS の白色が目立つのでアスファルトの基層に利用することが望ましい。
- 4) EPS 骨材は優れた断熱性を持ち、凍上抑制層を従来の半分の厚さにできるうえ凍上を押さえる働きもある。
- 5) EPS 骨材を配合することにより軟弱な土壌の支持力を改善できる。
- 6) アスファルトへの添加、凍上抑制層への利用共に従来の工法と変わることが無く成果は広範に利用できる。

参考文献

- 1) 山田優，稲葉慶成：第 4 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.385-388 (1933)
- 2) 山田優：骨材資源，26，102，pp.71-75 (1994)
- 3) 芳賀顕世，松島良和：リサイクル技術研究発表会講演論文集，2，pp.15-18 (1994)
- 4) 菅原賢司，坂本康文，松下憲生：道路建設，591，pp.54-59 (1997)
- 5) 久保宏，佐渡和典，伊藤智明：土木学会第 52 回年次講演会，pp.120-121 (1997)
- 6) 久保宏，伊藤智明：北海学園大学工学部研究報告，26，(1999)
- 7) (社)日本道路協会編：舗装試験方法便覧，丸善(1998)
- 8) 斉藤敏彦，野原他喜男，川村和幸，水島達朗：開発土木研究所月報，450，pp.2-11 (1990)
- 9) 村上浩，尾本志展，溝渕優：舗装，25，2，pp.9-17 (1990)