

ペットボトルラベル再生ペレットの排水性 アスファルト混合物への混入効果

鎌田 修¹・山田 優²

¹学生会員 工修 大阪市立大学大学院工学研究科 (〒58-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

²正会員 工博 大阪市立大学大学院工学研究科教授 (〒58-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

ペットボトルのリサイクルは進んでいるが、ラベル部分のポリエチレンは種々の色を呈しているために、プラスチック製品としての用途は限られている。また、これまでの研究で密粒度アスファルト混合物にポリエチレンを混入すると耐流動性、耐曲げひび割れ特性が向上することが分かっている。そこで本研究では、使用されることが多くなっている排水性アスファルト混合物に混入し、その効果を調べた。その結果、水浸ホイールトラッキング試験による破壊時間が大きくなり、また耐油残留安定度試験から残留安定度が大きくなり、排水性混合物に求められる滞留水によるはく離破壊、車の油漏出による破壊に対する抵抗性が向上することが分かった。

Key Words : the pellet reclaimed from PET bottle label, porous asphalt mixture, the time of destruction, anti-oil stability

1. はじめに

各種飲料用ペットボトルは、安価で軽量、かつ耐衝撃性が優れ、我が国では近年使用量が急激に伸びている。2002年度には生産量が40万tに達しようとしている。世界的にも包装容器として話題を呼んでおり、世界全体の生産伸び率は我が国の伸び率よりも大きく、今後もその傾向は続くと思われ。

しかし、ペットボトルのリサイクル率は40%以下で、スチール缶、アルミ缶の80%程度に比べて、まだまだ低く、それを高めるべく技術開発が要求されている。

ペットボトルは通常、ポリエチレンテレフタレートの本体にポリエチレンのラベルが巻かれている。本体のほうはほとんど無色透明で、分離収集すれば、再生ペレットにして様々な用途に利用できる。ラベルのほうは種々の色を呈していてプラスチック製品としての用途は限られ、リサイクルされにくい。

廃プラスチックの舗装材料としての利用については、これまでの研究^{1),2)}から可能性が見いだされている。すなわち、密粒度アスファルト混合物にポリエチレン、ポリプロピレンなど熱可塑性プラスチックの粒を混入した場合にはホイールトラッキング試験より求められる動的安定度(以下、DS)が上がり、

ポリエチレンはさらに耐曲げひび割れ特性も向上させることができる。

一方、道路舗装においては、表層に排水性アスファルト混合物を用いることが多くなっている。この混合物はバインダーに高粘度アスファルトを使用していて、従来の混合物に比べて塑性変形抵抗性などの点ですぐれている。しかし、重交通量の表層に用いられることが多く、耐久性が重視される。特に、排水性という機能から、混合物内に水が滞留することがあり、はく離による破壊が心配される³⁾。また、車からの油の漏出が破壊につながりやすいことも指摘されている⁴⁾。

そこで本研究では、ペットボトルのポリエチレンラベルの再生ペレットを排水性アスファルト混合物に混入し、特にはく離による破壊、油による破壊に対する抵抗性を向上させることができないかなど、混入効果を検討した。

2. 使用材料および混合物作製方法

(1) 使用プラスチック種類

本研究で使用したプラスチックを表-1に示す。ペットボトルラベル再生ペレット(以下、PE-3)の

ほか、比較のために、ポリプロピレンとポリエチレンの市販ペレット（以下、PP および PE-1）、および過去に密粒度アスファルト混合物に混入して現場施工の実績のあるポリエチレンの廃棄物の破砕物（以下、PE-2）を加え、計 4 種類とした。ペレットの PE-1 と PP の粒径は 7 号砕石の粒径の 5 ~ 2.5(mm) でほぼ均一であった。廃棄物の PE-2 は粒径が均一ではなかったが、ほぼ 6 号砕石の粒径の 13 ~ 5(mm) であった。PE-3 は粒度分布が広範囲に分散していた。

表 - 1 使用プラスチックの性状

種類	ポリプロピレン	ポリエチレン		ポリエチレン	
呼び名称	PP	PE-1	PE-2	PE-3	
品質	市販ペレット	市販ペレット	廃棄物（ポリバケツの破砕物）	ペットボトルリサイクル再生ペレット	
通過質量百分率 (%)	19.0mm	-	-	100.0	-
	13.2	-	-	98.7	-
	9.50	-	-	14.6	100.0
	4.75	100.0	100.0	0.8	91.3
	2.36	0.0	0.0	0.1	43.9
	1.18	-	-	-	10.8
	0.6	-	-	-	1.4
	0.3	-	-	-	0.1
形状	球状	球状	砕石状	粒状	
比重	0.921	0.900	0.900 *	0.900 *	

(* 平均値)

(2) 混合物の種類、およびその材料と配合

最大粒径が 13mm と 5mm の排水性アスファルト混合物および比較のために最大粒径 13mm の密粒度アスファルト混合物を作製した。それらの材料と配合を表 - 2 に示す。

表 - 2 使用混合物配合

混合物の種類	排水性混合物		密粒度混合物	備考	
	最大粒径13mm	最大粒径5mm	最大粒径13mm		
通過質量百分率 (%)	19.0mm	100.0	-	100.0	硬質砂岩 (高槻産)
	13.2	95.0	-	97.5	
	9.5	71.0	-	85.8	
	4.75	23.0	100.0	62.5	
	2.36	15.0	15.0	42.5	スクリーニングス
	1.18	13.0	13.0	30.8	
	0.6	11.0	11.0	26.3	
	0.3	9.0	9.0	15.5	砕砂
	0.15	7.0	7.0	11.0	
	0.075	5.0	5.0	6.0	石灰石粉
0.075以下	-	-	-		
AS量 (%)	5.0	5.0	5.5		
AS種類	高粘度改質AS		S T 60/80AS		
繊維質補強材 (混合物質量比%)	0.3	0.3	-	植物性繊維	

(3) 混合物の作製方法

プラスチックを混入する際は骨材と体積比で置換して混入した。置換する骨材の粒径は PP と PE-1 は 4.75 ~ 2.36(mm) とし、混入量を 4% または 8% とした。PE-2 は粒径 9.5 ~ 4.75(mm) の骨材と 4% または 8% 置換した。PE-3 は粒径にばらつきが出たために、2.36 ~ 0.075(mm) の骨材と置換する範囲を変えながら 4 ~ 10% 混入した。

混合温度は排水性混合物で 170℃、密粒度混合物で 150℃、混合時間はいずれも 150 秒とした。

プラスチックは常温で添加し、150 秒間混合物と加熱混合した。

ローラー転圧温度は排水性混合物で 150℃、密粒度混合物で 140℃ とした。

3. 試験方法

本研究では、プラスチック混入により排水性混合

物にどのような影響を与えるか調べるために以下の試験を行った。

- ・ホイールトラッキング試験（耐流動性の評価）
 - ・水浸ホイールトラッキング試験（耐水性、はく離特性の評価）
 - ・耐油残留安定度試験（耐油性の評価）
 - ・現場透水試験（透水性への影響評価）
- 以下、それぞれの試験方法を説明する。

(1) ホイールトラッキング試験

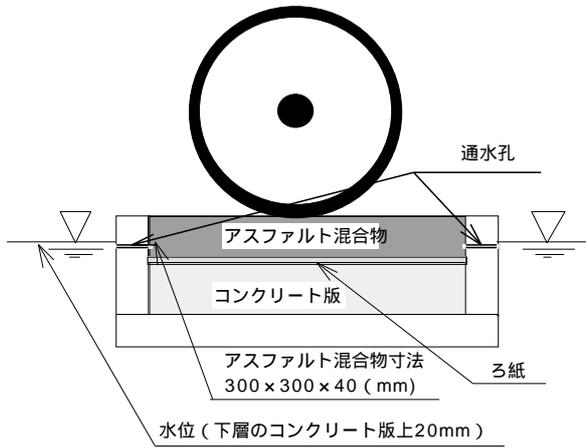


図 - 1 水浸ホイールトラッキング試験装置概略図

表 - 3 水浸ホイールトラッキング試験条件

項目	設定値
トラッキング速度	42往復 / 分
トラッキング幅	300mm
トラバース速度	100mm / 分
トラバース幅	250mm
室温・水温	60
荷重	686N

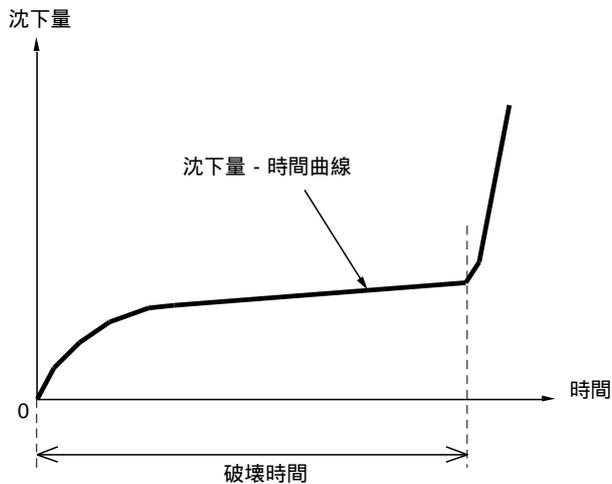


図 - 2 沈下量 - 時間曲線

舗装試験法便覧に準ずる方法⁵⁾で行った。なお、試験輪荷重を 686 (N)、供試体厚さを 5cm とした。

(2) 水浸ホイールトラッキング試験

水浸ホイールトラッキング試験は、図 - 1 に示すとおり、上層に 300×300×40(mm)の排水性等のアスファルト混合物、下層にコンクリート版、境界層にろ紙を敷いて設置した供試体上に車輪を走行させた。水位は排水性混合物上面から 2cm とした(下面から

2cm)。

車輪の走行速度は骨材とアスファルトとはく離を促進するために、前報⁶⁾と同様に 42 往復 / 分とした。トラバース速度は 100mm / 分として、走行試験中の供試体上面の垂直変位量(沈下量)の最大値を自動記録した。

沈下量 - 時間曲線を描くと図 - 2 に示すように急激に沈下量が増加する現象が見られた³⁾。この時間を破壊時間とし、はく離による破壊に対する抵抗性の指標とした。

(3) 耐油残留安定度試験

車両から漏れる油分は排水性混合物内に浸透し、カットバックされたアスファルトが結合力を失い、ポットホールに進行していくと考えられている。そこで本研究では東京都がおこなった実験⁴⁾を参考にして次のような手順で試験をした。

マーシャル供試体を作製する。

ガソリン内に供試体を上面まで浸す。浸漬時間は 3, 5, 10 分とする。

ガソリンから供試体を取り出して 1 日放置する。

マーシャル安定度を求めて、ガソリンに浸していない供試体との安定度を比較してその比率を耐油性残留安定度とした。

(4) 透水試験および表面性状確認

プラスチックが熔融した場合、透水に必要な空隙をつぶしてしまい、十分な透水機能を持たない可能性がある。そこで、舗装試験便覧の現場透水試験に準ずる方法⁷⁾で透水試験を行った。併せて耐油残留安定度試験で作製したマーシャル供試体から連続空隙率を調べ、さらに目視で表面性状を観察してプラスチック混入による透水性、表面性状の変化を考察した。

4. 試験結果および考察

(1) ホイールトラッキング試験

最大粒径 13mm 排水性混合物の結果を図 - 3、最大粒径 5mm 排水性混合物の結果を図 - 4 に示す。図 - 3 より最大粒径 13mm 排水性混合物に PE-3 を 6%、PE-2 を 8% 混入することにより DS は 2 倍程度まで上がった。他の条件ではそれほど大きくならなかったが、プラスチックを混入しない混合物の DS より小さくなることはなかった。

また、図 - 4 で最大粒径 5mm 排水性混合物でも PP

表 - 4 置換骨材粒径の違いによる破壊時間への影響 (PE-3 4%混入)

混入量 (%)	置換骨材 (mm)	破壊時間 (分)	
		13mmTOP	5mmTOP
0	混入なし	530	500
4	4.75 ~ 2.36	620	680
	2.36 ~ 0.6	630	660
	0.6 ~ 0.075	1030	850

表 - 5 PE-3 混入量の違いによる破壊時間への影響

混入量 (%)	置換骨材 (mm)	破壊時間 (分)	
		13mmTOP	5mmTOP
0	混入なし	530	500
4	0.6 ~ 0.075	1030	850
6	0.6 ~ 0.075	1600	1040
10	2.36 ~ 0.075	1620	1060

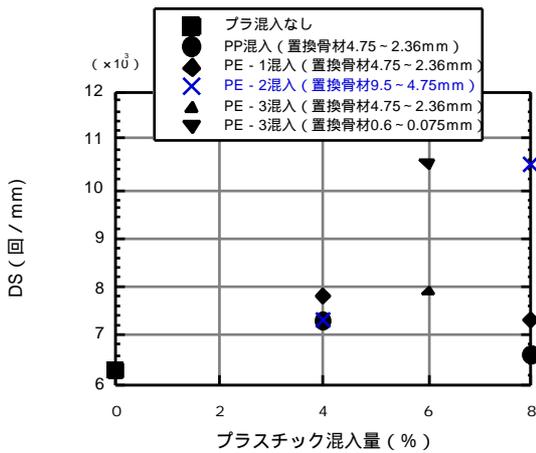


図 - 3 DS - プラスチック混入量関係 (最大粒径 13mm 排水性混合物)

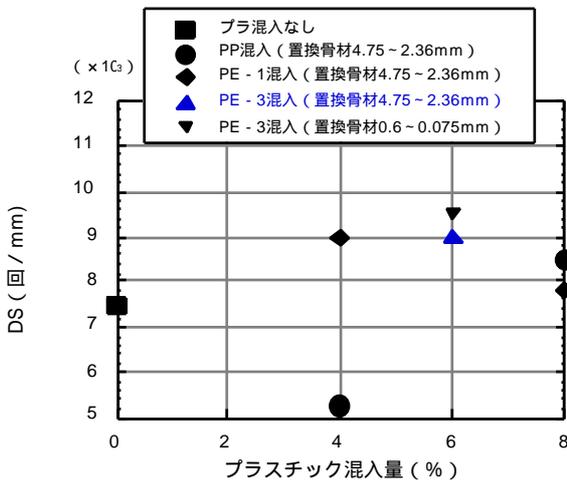


図 - 4 DS - プラスチック混入量関係 (最大粒径 5mm 排水性混合物)

を 4%混入した混合物では DS がプラスチックを混入しなかった混合物に比べて小さくなっているが、その他の混合物では DS は上がっている。

今回使用した排水性混合物は高粘度アスファルトを使用したために、プラスチックを混入しない状態でも DS が大きくなった。したがって、その得られた DS の数値の比較から単純に混合物の耐流動性の比較をすることは、試験精度を考慮に入れると難しい。しかし、全体的に排水性混合物にプラスチックを混入すると DS は上がる傾向にある。

PE-3 を混入した場合には、今回実験したすべての混合物の DS が上がった。これにより、PE-3 混入により排水性混合物の耐流動性を損なうことはなく、混入条件によっては高めることができる可能性があることが分かった。

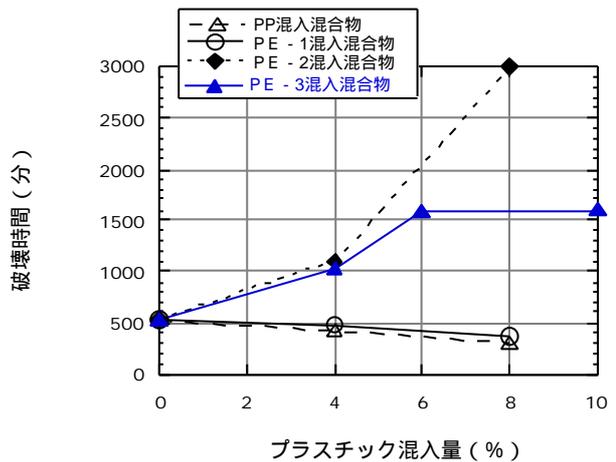


図 - 5 破壊時間 - プラスチック混入量関係 (最大粒径 13mm 排水性混合物)

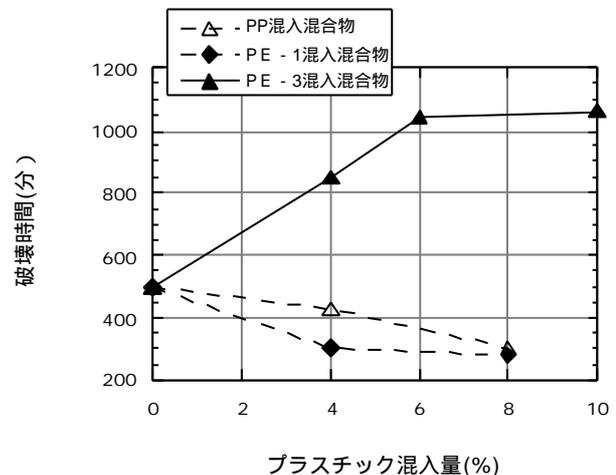


図 - 6 破壊時間 - プラスチック混入量関係

(2) 水浸ホイールトラッキング試験

a) PE-3 混入混合物の結果

PE-3 はその作製過程から粒径が広範囲に分布している。そのために、まず混入量を一定(4%)として置換する骨材の粒径を変化させて試験を行った。その結果を表-4 に示す。これより置換する骨材の粒径が小さいほど破壊時間が長くなった。特に、0.6~0.075(mm)の骨材と置換した場合の変化が大きい。

表-5 に PE-3 混入量の変化による破壊時間の変化を示す。今回試験に使用した混合物の配合では 0.6~0.075 (mm) の骨材は骨材体積の 6%分であり、10%混入する場合は残りの 4%は 2.36~0.6 (mm) の骨材から置換した。この結果から砕砂と置換する混入量 6%までは破壊時間は長くなるが、残りの 4%を粒径の大きい骨材と置換し、PE-3 の混入量を 10%に増やしても破壊時間は長くならなかった。

これらの結果には PE-3 の熱による可塑性が影響していると考えられる。PE-3 は熱により容易に溶融する。しかし、ポリエチレンは溶融しても粘度が高く、粘着性を持つ。PE-3 は粒径も小さいことから混合物全体に広がり、粗骨材とアスファルトの付着にその粘着性が影響を与え、骨材とアスファルトのみが接着するよりも耐水性が向上するものと考えられる。

b) PP, PE-1, PE-2 混入混合物の結果

PP, PE-1 および PE-2 を混入した混合物と PE-3 混入混合物の水浸ホイールトラッキング試験結果を図

-5, 図-6 に示す。

図-5 から PE-2 を混入した混合物は混入量が増加すると破壊時間も長くなり、PE-2 混入により混合物の耐はく離性能が向上していることが分かる。その程度は PE-3 よりも大きい。しかし、PP と PE-1 は混入することによって混合物の破壊時間が短くなる。この傾向は混入量を多くするほど著しい。

図-6 から混合物の最大粒径が変わっても PP と PE-1 は混入することによって混合物の破壊時間を短くすることが分かる。

以上のように、排水性混合物にプラスチックを混入する際、同種類のプラスチックでも混入による影響が全く違う結果が生じた。これは同じ種類のプラスチックであっても、熱による塑性性状が異なるため

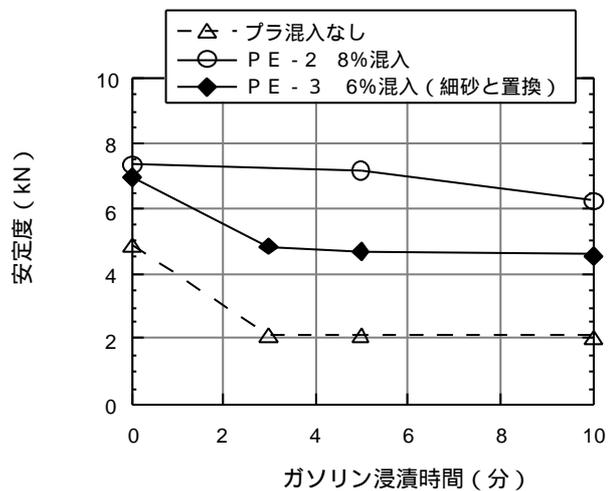


図-7 安定度 - ガソリン浸漬関係

表-6 PE-1, PE-2 熱塑性性状比較

温度	PE-1	PE-2	
90	変化なし	変化なし	
100	軟化し始める。		
110	少し粒が崩れる。		
120			若干柔らかくなる。
130			完全に溶融する。
140	かなり粒が崩れるが、完全に溶融しているとはいえない。		
150			

表-7 マーシャル安定度比較

混合物	プラスチックの混入なし	混入プラスチック	
		PE-1	PE-2
密粒度	10.75	12.64	13.20
排水性	4.90	4.97	6.99

* 単位: kN

残留安定度 (%)

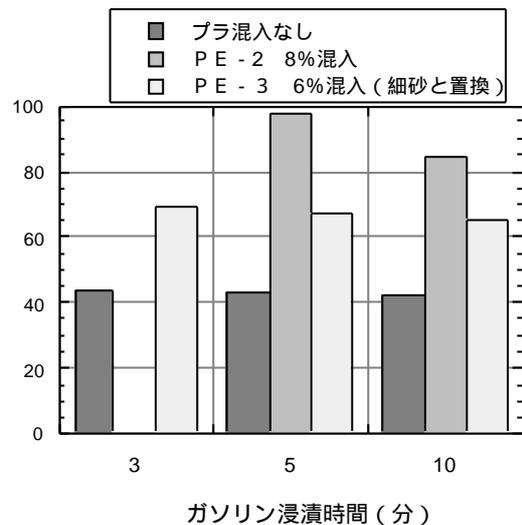


図-8 残留安定度 - ガソリン浸漬関係

に生じたと考えられる。

表 - 6 に PE-1 と PE-2 の熱による塑性性状を観察した結果を示す。PE-2 は軟化するとすぐに溶融し、流れ出す。一方、PE-1 は軟化する温度は低いようであるが、溶けて流れ出すことはほとんどない。

排水性混合物は密粒度混合物よりも空隙が大きく、また細骨材が少ないことで、流れ出していない PE-1 と粗骨材、アスファルトとをつなぎ止める要素が少ないと考えられる。表 - 7 のマーシャル安定度の結果をみると、PE-2 混入混合物は密粒度混合物でも排水性混合物でも安定度がプラスチックを混入しない混合物よりも大きくなっているが、PE-1 混入混合物の排水性混合物はプラスチックを混入しない混合物と同程度となっている。

また、ポリエチレンの粘着力が十分に発揮できないのであれば、PE-1 は球形をしており、表面の凸凹も通常の骨材よりも少ないために、良質の骨材を使用するよりも混合物の耐はく離性は悪くなる可能性がある。

以上のことから同種類のプラスチックを混入しても、混入による破壊時間の変化の傾向が異なる。PE-3 は熱によって PE-2 のように容易に溶融するために破壊時間が長くなったものと考えられる。

(3) 耐油残留安定度試験

耐油残留安定度試験では、水浸ホイールトラッキング試験で破壊時間が長くなった PE-2、PE-3 混入混合物とプラスチックを混入しない混合物を比較した。混合物の種類は最大粒径 13mm 排水性混合物で、各試験値は 3 本の供試体の平均値とした。

図 - 7 から安定度は初期の段階で PE-2、PE-3 を混入した混合物のほうが大きくなっていることが分かる。ガソリンに浸漬させるとプラスチックを混入しない混合物は急激に安定度が下がる。PE-3 混入混合物の安定度も下がるが、その程度はプラスチックを混入していない混合物よりも緩やかで、10 分浸漬後の安定度は混入しない混合物の初期の安定度と同程度であった。PE-2 混入混合物は安定度の低下がほとんどみられなかった。

図 - 8 に残留安定度とガソリン浸漬時間関係を示すが、これより明らかに PE-2、PE-3 を混入した混合物のガソリンによる安定度の低下が減少していることが分かる。これは、ポリエチレンは耐油性のある物質であり、これが溶融して、その粘着性からアスファルトと骨材の接着に関係することにより、混合物の耐油性が向上するものと考えられる。

(4) 現場透水試験および表面性状確認

混合物内でプラスチックが溶融することで、排水性混合物に要求される空隙率が確保できなかったり、転圧の際に溶融したプラスチックが表面の空隙を埋めたり、粘着性を増すために転圧機に混合物が付着して表面の仕上がりが悪くなる懸念がある。

そこで、各混合物の透水量、空隙率、有効空隙率を測定し、表面性状の観察をおこなった。その結果を表 - 8、表 - 9 に示す。これらの結果からプラスチックを混入しても透水量、空隙率に大きな変化はなく、特に透水量は十分に確保されている。しかし、特に PE-2 を混入した混合物は表面にプラスチックが溶融して空隙を潰し、転圧ローラーに付着して表面に凸凹が多くなった。写真 - 1 と写真 - 2 をみると、PE-2 混入混合物の空隙が不均一になっていることが分かる。透水量としては数値として満足できているが、目視により確認できる表面性状には問題がある。

写真 - 3 には PE-3 混入混合物の表面の状態を示す。ポリエチレンが溶融してアスファルトと混ざるためにプラスチックを混入しない混合物と比較して光沢を持った色となった。しかし、表面の空隙はほぼ均一に分布しており、表面の凸凹もほとんどみられなかった。

表 - 8 混合物の透水量・空隙率・表面性状
(最大粒径 13mm 排水性混合物)

混入プラ	プラ混入量 (%)	透水量 (ml / 15s)	空隙率 (%)	有効空隙率 (%)	表面性状 (目視)
混入なし	0	1181.9	21.4	17.2	良
PE - 1	4	1263.2	19.9	-	良
	8	1224.5	20.2	-	やや荒
PE - 2	4	1263.2	20.4	-	荒
	8	1224.5	20.9	18.6	荒
PE - 3	4	1196.2	19.8	-	良
	6	1202.4	20.2	17.3	良

表 - 9 混合物の透水量・空隙率・表面性状
(最大粒径 5mm 排水性混合物)

混入プラ	プラ混入量 (%)	透水量 (ml / 15s)	空隙率 (%)	表面性状 (目視)
混入なし	0	1164.5	21.4	良
PE - 1	4	1234.6	20.6	やや荒
	8	1237.1	21.8	やや荒
PE - 3	4	1134.6	21.2	良
	6	1184.2	21.6	やや荒



写真 - 1 プラスチック混入なし混合物表面性状



写真 - 2 PE-2 8%混入混合物表面性状

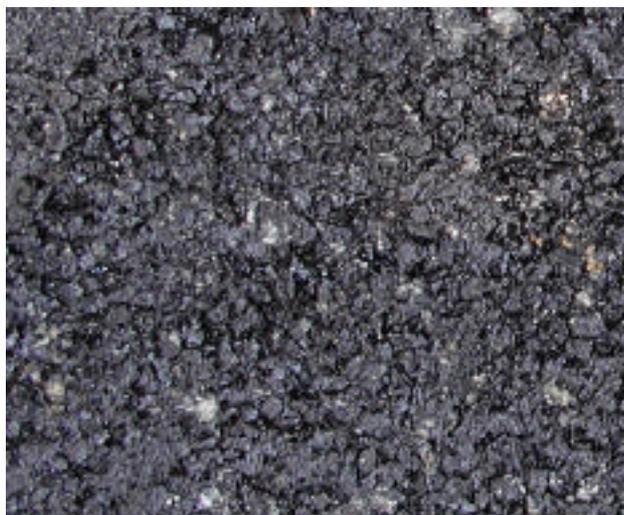


写真 - 3 PE-3 6%混入混合物表面性状 (砕砂と置換)

このようなPE-2とPE-3の表面形状の違いは、PE-2は6号砕石と同等の粒径であり、熱によって熔融すると粗骨材ほどの大きさの粘着力をもった大きな塊となり、転圧の際に空隙を埋め、周辺骨材とともにローラーに付着するものと考えられる。一方、PE-3は砕砂と置換しており、熔融して粗骨材とほぼ均等に付着する。そのために表面の空隙を不均一に埋めることはなく、またローラーと付着してもアスファルトと均等に混ざっているために粗骨材がローラーに付着しない。

5. 結論

- 1) ペットボトルラベル再生ペレットを排水性混合物に混入することによりDSが上がり、その混入条件によっては、混合物の耐流動性を高めることができる可能性がある。
- 2) ペットボトルラベル再生ペレットを4.75~2.36(mm)、あるいは2.36~0.6(mm)の骨材部分と置換した場合は水浸ホイールトラッキング試験の破壊時間は混入しない場合と比べて長くなったが、増加量はわずかであった。それよりも細かい0.6~0.075(mm)と置換した場合に破壊時間が大きく増加した。
- 3) 耐油性のあるポリエチレンが熔融し、アスファルトと混ざることにより、排水性混合物の耐油性が向上する。
- 4) ペットボトルラベル再生ペレットを排水性混合物に混入した場合、透水量、空隙率、表面の性状にも目立った影響はなかった。

以上より、今後さらに試験施工を含め、詳細な検討が必要だが、ペットボトルの再生ペレットを排水性アスファルト混合物に混入して利用できる可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 山田優，稲葉慶成：廃プラスチックのアスファルト混合物用材料としての利用，舗装，Vol.29，No.7，pp.17-22，1994.
- 2) 鎌田修，山田優：プラスチック粒入りアスファルト混合物の動的安定度と疲労破壊特性，第21回日本道路会議論文集(B)，pp.616-617，1995.
- 3) 山端一浩，山田優，袴田文雄，前川順道：水浸ホイールトラッキング試験による橋梁床版上排水性舗装の耐久性の検討，土木学会論文集，No.606/ - 41，pp.21-29，1998.
- 4) 峰岸順一，田中輝栄：低騒音舗装のポットホールの

破損の実態と原因, 舗装, Vol.37, No.3, pp.3-9, 2002. 工学論文集, pp.196-201, 2001.

5) 日本道路協会: 舗装試験法便覧, pp.539-555, 1988. 7) 日本道路協会: 舗装試験法便覧, pp.926-929, 1988.

6) 鎌田修, 山田優: 水浸ホイールトラッキング実験による橋面舗装でのポットホールの発生とその要因, 舗装

THE EFFECT OF MIXING THE PELLET RECLAIMED FROM PET BOTTLE LABEL IN POROUS ASPHALT MIXTURE

Osamu KAMADA and Masaru YAMADA

The recycle of PET bottle is advanced in recent years. But the utilization of reclaimed productions of PET bottle label is limited, because of these color. And dense graded asphalt mixture mixed with polyethylene is exceeded in anti-fluidity and anti-cracking of bended. So in this study, the effect of mixing the pellet reclaimed from PET bottle label in porous asphalt mixture was examined. For the results, the time of failure examined by immersion wheel tracking test was longer and the retained stability examined by anti-oil stability test was improved. For these, the resistance of stripping caused by standing water and of destruction caused by the leak of oil by car is improved by using this pellet in porous asphalt mixture.