廃米プラスチックの規格外品を有効活用した アスファルト混合物の高耐久化に関する検討

大林道路(株)技術研究所　○増田　小夏
日本大学工学部　前島　拓
国立研究開発法人　土木研究所　百武　壮

１．はじめに

日本国内の CO_2 排出量は約 3 分の 2 がインフラ分野と関係しており、CO_2 排出量削減に向けた取り組みにおいて当該分野が果たす責任は非常に大きい [1]。舗装分野でも 2050 年のカーボンニュートラル達成に向けた研究・開発が進められており、例えば、舗装材料では舗装にバイオマス材料を用いてバイオマス由来の炭素を舗装に固定する方法や算定方法が検討されている [2]。他方で、福島県の(株)ライスレジンでは食用に適さない備蓄米等を利用したバイオマスプラスチック（以下、ライスレジン）が製造されており、CO_2 排出量削減の観点から石油由来プラスチックの代替品に利用されている。しかし本材料は製造の過程で規格外品が年間 3t 前後発生しており、サーマルリサイクル等で処分している。そこで我々は、本材料の規格外品を舗装材料に有効活用することでカーボンニュートラルと、現状より高次元のサーキュラーエコノミーに寄与できると考えた。本報告書では、舗装材料への適用を目指し、ライスレジンの規格外品を高耐久アスファルト混合物の添加材として室内検討した結果を報告する。

２．ライスレジンの概要と研究方針

ライスレジンは、非食用のお米を(株)ライスレジン独自の技術でバイオマスプラスチックへとアップサイクルした素材である。また、汎用プラスチックの代替ペレットでありバイオマス度は 50%～70%である。ライスレジンの製造過程ではサイズオーバーの規格外品が発生するが、ペレットに再整形すると米由来の成分が変質してしまい再製品化はできない。筆者らは、このようなライスレジンの規格外品の有効活用法として舗装材料としての適用を検討している。国内外の報告でポリエチレン等のオレフィン系樹脂にはアスファルトの改質効果が確認されており（例えば参考文献 3）など)、ライスレジンも同様の効果が期待できる。またライスレジンの場合、バイオマス由来の炭素固定効果により混合物の CO_2 排出原単位を抑えて施工時の CO_2 排出量を低減しつつ、高耐久化により供用時の修繕回数を抑えてライフサイクル CO_2 を低減する可能性がある。本検討では**表-1** に示す 2 種類のライスレジンを比較した。ライスレジンはポリプロピレンに米を 70%含有した R70J-2A（以下、R-PP）とポリエチレンに米を 50%含有した R50E-4（以下、R-PE）を使用した（**写真-1**)。

表-１　使用ライスレジンの物性（代表値）

	単位	JIS規格 名称	RiceResin® R70J-2A	RiceResin® R50E-4
バイオマス度	wt%	-	70	50
マトリックス	-	-	PP	PE
MFR 190°C 10kgf	g/10min.	K7210に準ずる	11	3
密度	g/cm^3	K7112	1.24	1.13
曲げ強度	MPa	K7171	59	16
曲げ弾性率	MPa		2600	700
引張強度	MPa	K7161	35	16
引張伸び	%	K7162	5	40
シャルピー衝撃強度	kJ/m^2	K7111	2.5	13
日本有機資源協会　バイオマスマーク認定			180001	190281

写真-１　左）R-PP 規格外品
右）R-PE 規格外品

３．検討概要

３．１　検討方針

検討フローを**図-１**に示す。ライスレジンの舗装への適用にあたり①～④の検討フローで添加材の種類と添加材量を検討した。本報では①～②の検討結果について報告する。

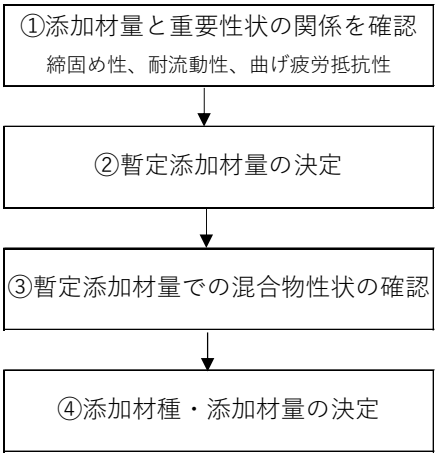

図-１　検討フロー

３．２　試験項目

試験項目と試験方法を**表-２**に示す。本検討では高耐久アスファルト混合物として重要な性状である耐流動性や耐油性、一方で懸念される性状である締固め性と曲げ疲労抵抗性を確認した。

３．３　使用配合

検討に用いた配合を**表-３**に示す。配合は改質密粒度アスファルト混合物(13)を基本配合とし､突き固め回数 75 回で配合設計した。ライスレジンはポリマー改質アスファルトⅡ型に対して外掛け 10%、15%、20%それぞれ添加した。

表-２　試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
マーシャル安定度試験	試験便覧 B001
ホイールトラッキング試験	試験便覧 B003
アスファルト混合物の曲げ疲労試験	試験便覧 B018T

表-３　検討配合

配合名		6号砕石	7号砕石	砕砂	細目砂	石粉	ｱｽﾌｧﾙﾄ	**小計**	ﾗｲｽﾚｼﾞﾝ	**合計**
基本配合	骨材配合率（%）	30.0	22.0	33.0	10.0	5.0	-	**100.0**	-	**-**
	全体配合率（%）	28.4	20.8	31.1	9.5	4.7	5.5	**100.0**	0.000	**100.000**
ライスレジン 10%	全体配合率（%）	28.4	20.8	31.1	9.5	4.7	5.5	**100.0**	0.550	**100.550**
ライスレジン 15%	全体配合率（%）	28.4	20.8	31.1	9.5	4.7	5.5	**100.0**	0.825	**100.825**
ライスレジン 20%	全体配合率（%）	28.4	20.8	31.1	9.5	4.7	5.5	**100.0**	1.100	**101.100**

４．混合物性状からの添加材種および添加材量の検討

４．１　締固め性

４．１．１　評価方法

実施工における施工性を評価するため、締固め温度を下げたときの締固め性の変化を確認した。評価対象は、基本配合、基本配合に R-PE を 10%、15%、20%添加した配合、基本配合に R-PP を 10%、20%添加した配合とした。締固め性の指標として締固め度を用い、各配合の最適締固め温度（160℃）で転圧した供試体密度を締固め度 100%とし、締固め温度を 140℃、120℃と低減した供試体との密度比から締固め度を算出した。

４．１．２　評価結果

温度低下時における締固め性を各配合で比較した結果を**図-２**に示す。R-PE、R-PP を添加すると添加量に応じて温度低下時の締固め度は基本配合より低下した。特に R-PP は締固め温度 140℃の締固め度が大幅に低下した。R-PE は、添加材量が増えるほど締固め度は低下するが、140℃の締固め度は R-PP ほど低下しないことを確認した。このため、締固め性の観点からは R-PP より R-PE の方が優れていると考える。ただし、R-PE でも懸念していた締固め性の低下が確認されたため、今後、試験施工等で実際の施工性や締固め性を詳細に確認する必要がある。

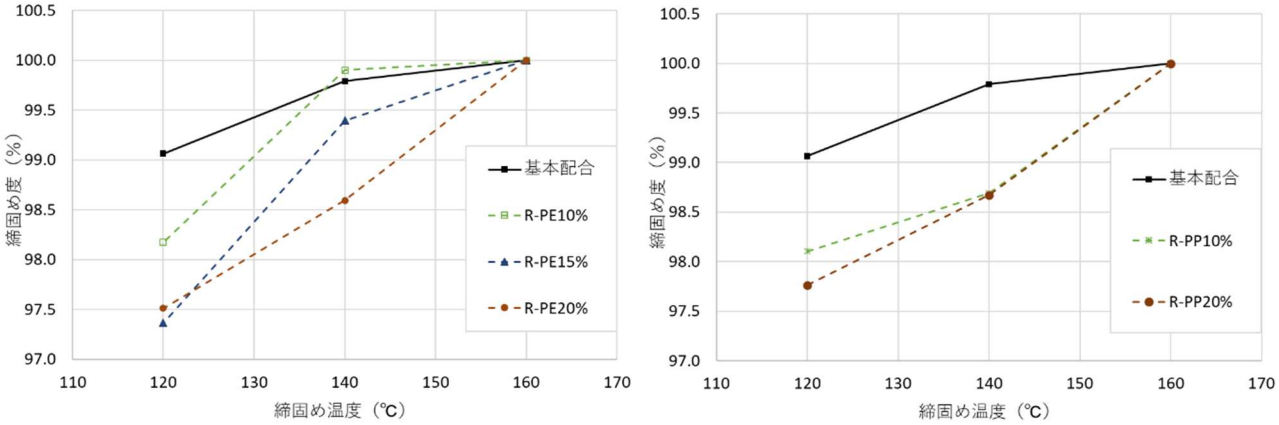

図-２ 締固め温度と締固め度の関係（左：R-PE、右：R-PP）

４．２　耐流動性

４．２．１　評価方法

一般的に高耐久アスファルト混合物は、耐流動性の指標である動的安定度を改質密粒度アスファルト混合物(13)からさらに高めた技術である。このため、ライスレジンを添加した混合物の動的安定度をホイールトラッキング試験により測定した。評価対象は、基本配合、基本配合に R-PE を 10%、15%、20%添加した配合、基本配合に R-PP を 10%、15%、20%添加した配合とした。動的安定度の目標は、「基本配合の 2 倍程度」ないしは「10000 回/mm 以上」を目安とした。

４．２．２　評価結果

各配合で実施したホイールトラッキング試験の結果を**図-３**に示す。基本配合の動的安定度が 7000 回/mm に対して R-PP、R-PE ともに添加材量 10％で 15750 回/mm と基本配合の 2 倍以上の値となり、目標とした耐流動性を満足していた。ただし、どちらの添加材も 10%以上の添加では動的安定度の大きな向上は望めないことを確認した。

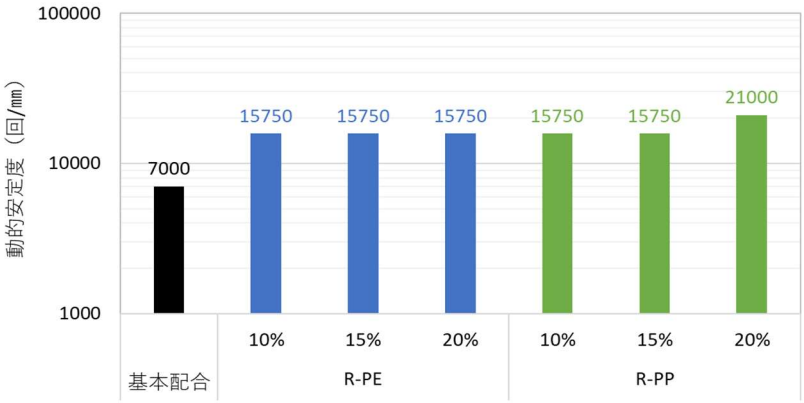

図-３ ホイールトラッキング試験結果

４．３　曲げ疲労抵抗性

４．３．１　評価方法

締固め性、耐流動性の評価結果より、R-PE は添加材量を選定することで目標の性状を確保できる見込みがあった。一方で R-PP は締固め性に課題があった。このため、曲げ疲労抵抗性の確認は R-PE のみで評価した。評価対象は、基本配合、基本配合に R-PE を 10%、15%、20%添加した配合とした。曲げ疲労試験の条件を**表-４**に示す。

表-４ 曲げ疲労試験条件

項目	試験条件
載荷方法	両端固定2点載荷
供試体寸法	40ｍｍ×40ｍｍ×400ｍｍ
スパン長	300ｍｍ
試験方法	ひずみ制御
試験温度	0°C
載荷周波数	5Hz
載荷波形	サイン波
ひずみ	400μ

４．３．２　評価結果

各配合で実施した曲げ疲労試験の結果を**表-５**に示す。R-PE の添加材量が増えるほど疲労破壊回数も増えた。このため、R-PE の添加によるアスファルト混合物の曲げ疲労抵抗性の低下を懸念していたが、むしろ向上することが確認できた。また、添加材量 10%以上で基本配合の 2 倍の疲労破壊回数となっており、耐流動性と同様に曲げ疲労抵抗性の改善効果も十分に高いことが分かった。

表-５曲げ疲労試験結果

配合名	破壊回数(回)
基本配合	9711
R-PE10%	20088
R-PE15%	24738
R-PE20%	27048

５．添加材種および添加材量の検討結果

添加材種は、温度低下時の締固め性の観点から R-PP より R-PE が適当であった。ただし R-PE でも添加材量 20%では温度低下時の締固め性が著しく低いため、15%以下が好ましいと考えた。また、耐流動性と曲げ疲労抵抗性の観点からは添加材量 10%以上が好ましいと考えた。以上の結果から添加材種は R-PE、その添加材量範囲は 10%～15%として中央値付近の添加材量 13%を暫定添加材量と考えている。

６．まとめ

ライスレジン（R-PE、R-PP）を高耐久アスファルト混合物の添加材として検討した結果を以下に示す。

- R-PE、R-PP を添加した混合物の締固め性は低下し R-PP で特に顕著であった。このため添加材種は R-PE が適当と判断した。
- R-PE、R-PP を添加した混合物の動的安定度は大きくなり、添加材量 10%以上で基本配合の 2 倍以上の値が得られた。
- R-PE を添加した混合物の曲げ疲労試験における疲労破壊回数は、添加材量が増えるほど大きくなり、添加材量 10%以上で基本配合の 2 倍以上の値が得られた。
- 締固め性、耐流動性、曲げ疲労抵抗性の評価結果から R-PE は高耐久アスファルト混合物の添加材として適用可能であり、適切な添加材量範囲はアスファルトに対して外掛け 10～15%であった。

７．おわりに

室内検討の結果、高耐久アスファルト混合物の添加材としてライスレジンの適切な添加材種と添加材量を示した。また、選定した R-PE を添加した高耐久アスファルト混合物は耐流動性、曲げ疲労抵抗性の 2 つの観点から舗装を長寿命化できる可能性が示唆された。今後は、混合条件や施工性を試験練り・試験施工で確認し、CO_2排出量を低減する新たな高耐久アスファルト混合物として技術の確立を目指したい。なお、本報は（国研）土木研究所と大林道路(株)との共同研究「カーボンニュートラルに資するアスファルト代替舗装材料の研究開発」における成果の一部である。

参考文献

1） **国土交通省：道路におけるカーボンニュートラル推進戦略中間とりまとめ 概要** (https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/cn-outline.pdf)，(**参照** 2025.1.14).

2） **新堀ほか：舗装の脱炭素化に向けた LCCO2 算定の研究-非石油由来バインダを用いた舗装の算定例-,第 29 回舗装工学講演会講演集**，PL2024-19

3） Marcela Balige：”Recycled plastics from different sources for asphalt pavement”, 7th E&E CONGRESS Eurasphalt & Eurobitume, 2020.