路面材料とゴム材料(アスファルトラバー)

丸 山 暉 彦^{*1}・菅 和 生^{*2}

Application of Rubber Material (Asphalt Rubber) for Road Pavements

Teruhiko MARUYAMA ^{*1}, Kazuo SUGA ^{*2} (¹Department of Civil and Environmental Engineering Nagaoka University of Technology Nagaoka, Niigata 940-2188, JAPAN, ²R & D Department Yokohama Rubber Co., LTD 2-1 Oiwake, Hiratsuka, Kanagawa 254-8601, JAPAN)

Asphalt rubber (AR) is a blend, which includes 5-23 wt% of rubber component, of asphalt cement, reclaimed tire rubber, and certain additives.

In this study, the samples have been prepared by so-called "wet process", which smoothly caused swelling and reaction of the rubber with hot asphalt cement.

AR provides high quality road condition such as thermal cracking and rutting free surface, high skid resistance, low road noise, and so on.

We have researched the factors which affect swelling and degradation of crumb rubber in the asphalt. Then, we can apply the result for the design of Japanese AR pavement, which is required premium grade quality.

Key Words : Crumb rubber, Asphalt rubber, Asphalt pavement

1. アスファルトラバーの開発経緯

日本では年間約1億本の廃タイヤが発生する。その約半数はセメント、製紙産業等の熱源としてサーマルリサイクルに、約2割が更生タイヤ等のマテリアルリサイクルに用いられている。しかし、約1割は流通在庫・使途不明となっており、一部は不法投棄・野積みなどの問題を起こしている¹⁾。これらを解消するには、廃タイヤ・ゴムの新たなマテリアルリサイクル技術を開発する必要がある。道路に適用されている米国のアスファルトラバー(以下、AR)が着目されている。現地調査の結果、ARを用いた舗装は日本でも適用可能な機能を有する舗装と考えられる。“日本アスファルトラバー研究会(日本AR研)”が発足して、その技術開発が進んでおり、米国ARの動向や日本での現況について紹介する。

2. 米国ARの動向

2.1 ARの定義と特徴

ASTM D8-88では、ARは15%以上のゴムを膨潤した状態で含むアスファルトとある²⁾。Rubber Pavements Association(RPA)では、“アスファルト80%、ゴム20%のバインダー”とシンプルである。両定義共にゴム粉をアスファルトで予め混合し、膨潤熟成する製法、いわゆる

Figure 1 Schematic of AR pavement

^{*1}長岡技術科学大学 工学部(環境・建設系) (〒940-2188 長岡市上富岡町1603-1)教授。日本アスファルトラバー研究会 委員長。1971年、東京工業大学大学院修士課程修了。1973年、東京工業大学理工学部助手。専門は、舗装の構造設計・安全設計、舗装材料の開発、建設副産物のリサイクル、交通管理、騒音・振動設計、消融雪技術の開発。(社)土木学会舗装工学委員会委員長

^{*2}横浜ゴム(株)研究部(〒254-8601 平塚市追分2-1)。1988年、九州工業大学大学院環境工学科修士課程修了。1988年、横浜ゴム(株)入社。専門は、高分子化学、分析。

Wet Process Asphalt Rubberを指す。

Figure 1に、膨潤したゴム粉(0.4~2.0mm径)でアスファルトが高粘度化し、骨材周りに厚い皮膜(最大で4倍)を形成した模式図を示す。これにより骨材同士の噛み合わせが強化され、耐クラック性など舗装性能が大幅に向上する。

2.2 AR開発の歴史と普及状況

ARは1966年にCharlie Macdonaldが最初に開発し、道路補修材として使用した。その後、SAMI(Stress Absorbing Membrane Interlayer)などのクラック伝播改良手段に使われ、70年代に入って密粒系舗装、OGFC(Open Graded Friction Course)などのアスファルト合材に用いられ普及が進んだ。連邦は、野積みタイヤ削減を目指し、AR使用を義務付けた法律(ISTEA)を90年代初めに制定したが、検討段階の州の反対のため普及は滞り、数年で廃案となった。この後、ARに関する特許が切れたことにより、ARの普及が進んだ。

アリゾナ、カリフォルニア、フロリダ、テキサスの南部4州に普及が偏っているが、気候的制約がある訳ではなく、アリゾナの寒冷高地やカナダ(アルバータ州)でも普及している³⁾。南部4州の普及の推移をFigure 2に示す。

Figure 2 Usage of Crumbled Rubber for AR in USA

この他、改質アスファルトと同じプレミックス製造方式のARが1.4万トン(2003年)あり、今後ARを導入していく州ではこちらが主流になると予想される。全米では、約7万トンのゴム粉がAR舗装に使用されている。これは全米で発生する廃タイヤ約2.8億本/年の約5%に相当する。

2.3 ARの種類

ARは、Table 1に示すようにゴム粉の高濃度タイプと低濃度タイプに分かれる。前者は発祥の地アリゾナを始め、カリフォルニア等西部の州で使用され、粗めのゴム粉(約1.4mm)をアスファルトに対し14~23%使用する。耐クラック性や耐摩耗性が向上するため、表層舗装厚を低減し、初期及び長期メンテナンスコストを削減できる。また、道路騒音も最大数dB低減でき、乗り心地がよく、道路周辺住民に迷惑をかけない“低騒音”に特長がある⁴⁾。

後者はフロリダ、サウスカロライナ等東部の州で採用され、特許に抵触するアリゾナプロセスを回避して、細粒径

Table 1 Varieties of AR-pavement & Rubber Particle Size in USA

State	Applications	Rubber of Binder	
		Weight %	Particle size
Arizona	GGFC, OGFC	20 %	2.00mm (#10mesh)
California	3-Layer System (DGFC, SAMI, OGFC)	14~23 %	
Florida	ARMI, DGFC, OGFC	5~20 %	850 μ m (#20mesh) 425 μ m (#40mesh)
South Carolina	DGFC, SAMI, OGFC	10~20 %	425 μ m (#40mesh)
Texas	GGFC, OGFC	10~20 %	2.00mm (#10mesh) 1.18mm (#16mesh)

Key

GGFC=Gap Graded Friction Course

SAMI=Stress Absorbing Membrane Interlayer

OGFC=Open Graded Friction Course

ARMI=Asphalt Rubber Membrane Interlayer

DGFC=Dense Graded Friction Course

のゴム粉(40メッシュ、約0.4mm)を少量(密粒系で5%、OGFCで12%)使用する形をとった。耐久性改良効果は小さいが、ゴムとアスファルトの混合装置の投資額が前者の半分で済む利点がある。

更に、米国ではARを使用することで、排水性舗装が製造可能となり、水跳ね・スリップ防止の“安全性”も大きく向上した。

2.4 米国ARの動向を踏まえた課題

日本でARを普及するには、以下の課題が考えられ、対策が必要である。

- ①かく拌つき混合装置の設備投資が必要。費用は数千万(移動型)~1億円(固定タイプ)で、バインダー供給方式はプレミックスが低コスト。
- ②本質的に高粘度であるため、冬季施工しづらい。アリゾナ等では徐々に克服されつつあり、日本でも寒冷地対策が必要。
- ③フロリダ州では再生合材の使用で問題があり、再生合材の利用が必須。
- ④施工条件により揮発分やゴム特有の臭気対策が必要。ただし、少量の芳香剤混入で解決できる場合もある。揮発成分中には有害物質は観測されていないが、今後検証が必要。
- ⑤2次リサイクル性が必要。

3. ARバインダーの挙動

ARを日本に適用する際、バインダー物性や合材物性ととも施工性や供給性に影響を与えるバインダー粘度、及びゴム粉の変化を把握することは極めて重要である。日本の原材料を混合・かく拌・熟成した場合、どのような粘度挙動やゴム粉が変化を示すのか検討を加えた。

3.1 使用材料及び混合・熟成方法

ARバインダー作製に用いたゴム粉をTable 2に示す。ゴム粉は天然ゴム主体のトラック・バスタイヤからのゴム

Table 2 Kinds of Rubber Particles for AR

名 称	ゴム粉サイズ	備 考
TB 0.4mm	0.4mm 程度	トラック・バスタイヤ
TB 0.7mm	0.7mm 程度	
TB 1.0mm	1.0mm 程度	
PS 0.4mm	0.4mm 程度	乗用車タイヤ
PS 0.7mm	0.7mm 程度	
PS 1.0mm	1.0mm 程度	
米国ゴム粉	1.4mm 程度	乗用車タイヤ
台湾ゴム粉	0.6mm 程度	

粉(TB)と合成ゴム主体の乗用車タイヤからのゴム粉(PS)の2品種を, アスファルトは, ストレートアスファルト(以下, Stas60/80, Stas80/100)を用いて評価した. 参考のため米国及び台湾からも原材料(ゴム粉, アスファルト)を入手し評価した. 混合方法はStas60/80及びStas80/100の各700gを容量1リットルのSUSビーカーで200℃まで加熱, 汎用かく拌羽根を用いて, 約15~30分かく拌しながら分散させた. 次に180℃オープン中に静置し(無かく拌), 1~4時間熟成した.

3.2 評価方法

粘度測定はビスコテスター-VE-04粘度計(リオン製)を用いて標準条件 $180 \pm 1^\circ\text{C}$ で実施した. 速度依存性についてはブルックフィールド粘度計(B・F粘度計)を用いて5~100rpm/180℃で測定した.

ゴム粉の膨潤挙動は, $0.5 \sim 1.0\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$ のゴム片をアスファルトと一緒にパンに入れて, TMAにより温度-ゴム接触膨潤測定を行った.

3.3 実験結果

3.3.1 ゴム粉サイズ及び熟成と粘度

ASTM²⁾ではARバインダーの粘度範囲は $1500 \sim 5000\text{mPa}\cdot\text{s}/350^\circ\text{F}$ と規定されているが, ゴム粉サイズを変更した場合の粘度変化をFigure 3に示す. ゴム粉サイズは小さいほど, 配合量が多いほど高い粘度を示している. また, 熟成による粘度変化をFigure 4に示すが, 熟成によって粘度はさらに高くなっている. アスファルト種で見ると, Stas80/100よりStas60/80をベースにした方が高粘度になる傾向が認められる.

Stas60/80をベースにした場合, 0.4mmサイズで約

Figure 3 Relationship between Viscosity and Rubber Particles

Figure 4 Viscosity Change by Aging

15wt%前後でASTMの粘度範囲 $1500 \sim 5000\text{mPa}\cdot\text{s}/180^\circ\text{C}$ に入り, 15wt%を超えると急激に粘度上昇することが確認できる. TBゴム粉とPSゴム粉の比較においてはTBゴム粉の方が高粘度になる傾向がある.

3.3.2 ARバインダーの速度依存性

ARバインダー(Stas60/80)の粘度の速度依存性をブルックフィールド粘度計で測定した結果をFigure 5に示す. 結果は改質II型や高粘度バインダーと傾向が違い, ARバインダーは速度依存性が大きい(チクソ性がある)ことが確認された. これはARバインダーの持つ大きな特徴と考えられる.

3.3.3 ARバインダー中のゴム粉の挙動

ゴム自体の熱膨張は, ゴム種によらず, 室温から180℃までの加熱で, 約4%膨張した. アスファルトと併用する

Figure 5 Shear Rate Dependency of Viscosity of AR

Figure 6 Swelling Tendency of Rubber Particles in AR by Temperature

と、TBゴムがPSゴムの2倍近く膨張した(Figure 6)。また、アスファルト種によっても膨張率が異なり、粘度調整を図る上で、考慮が必要である。

4. ARの道路舗装への適用

4.1 密粒度混合物, SMA, 再生合材へのARの適用

ARをバインダーとした密粒度アスファルト混合物(以下, AR密粒混合物)および碎石マスキング混合物(以下, AR-SMA)と, 従来のストレートアスファルト(以下, ストアス)および改質Ⅱ型アスファルト(以下, 改質Ⅱ型)を用いた混合物の混合物性状を比較し, AR適用の可能性を検討した。更に, 国内で生産されるアスファルト混合物のうち約2/3(2002年度の実績で65.7%)⁵⁾は再生アスファルト混合物であるため, ARをアスファルト混合物用のバインダーとして利用する場合, 新規アスファルト混合物(以下, 新規混合物)だけでなく再生アスファルト混合物にも利用できることが望ましい。そこで, ARを新規バインダーとした再生アスファルト混合物(以下, AR再生混合物)の性状をストアスや改質Ⅱ型を用いた新規混合物と比較して, 再生アスファルト混合物へのAR適用の可否を評価した。

4.2 使用材料および試験項目・条件

4.2.1 使用材料

本検討に使用したARは, ストアス60/80にトラック・バス用タイヤのゴム粉を8%, 12%, 15%の3水準で添加し, 180℃で1時間かく拌熟成したものである。また, AR再生混合物はゴム粉15%添加した密粒度アスファルト混合物で, 再生骨材配合率を0, 30, 60%の3水準とした。

4.2.2 試験項目

動的安定性(DS)の比較のために, ホイールトラッキング試験(供試体寸法: 30×30×5cm, 輪荷重: 686±10N)を, 低温時の変形追従性を比較するために, 単純曲げ試験(供試体寸法: 5×5×30cm, 載荷速度: 50mm/min, 温度: -10~15℃, スパン: 200mm)を行った。

4.3 試験結果

AR密粒混合物はストアスよりバインダー量は多くなり, 動的安定度(DS)も大きく向上することが認められた。

SMAは骨材分離防止のため植物繊維(以下, MC)を0.3~0.5%程度添加するケースが多く, ストアス60/80および改質Ⅱ型を使用した場合はMC0.3%を添加し, ARを使用した場合は無添加とした。一方, 動的安定度はMCを添加

することなく, ゴム粉添加量を調整することで, 改質Ⅱ型と同程度の値が期待できるとともに, 低温状態での曲げ追従性に優れた混合物であることが分かった(Table 3)。

AR再生混合物のDSは, 再生骨材配合率の増加に伴い若干増大する傾向にあり, 再生骨材配合率30~60%程度(併設加熱混合方式の再生アスファルト混合所で通常設定される再生骨材配合率の範囲)では改質Ⅱ型を用いた新規混合物とほぼ同等である(Figure 7)。

よって, 疲労抵抗性・耐摩耗対策として重交通箇所の表層に適用することができる。

5. 実用化に向けて

日本AR研究会では, AR混合装置(Max3.0t)を作製し, 2004年5月以降, 2箇所試験施工を行った(Figure 8)。従来の機械設備を用いて, 合材・施工ができることを確認し, 路面は良好である。

Figure 7 Dynamic Stability of AR recycled pavement

Figure 8 Appearance of AR Mixing System

Table 3 Durability of AR-SMA

項目	種類	MC0.3%添加		MC無添加		
		ストアス60/80	改質Ⅱ型	TB 8%	TB 12%	TB 15%
アスファルト量(%)		5.8	6.0	5.9	6.5	6.7
供試体密度(g/cm ³)		2.391	2.402	2.401	2.383	2.381
動的安定度(回/mm)		2800	4800	5800	3200	4200

6. 今後の進め方・課題

ARを利用した舗装は、廃タイヤのリサイクルにとどまらず、舗装の機能(高耐久性、高スキッド、低騒音など)を改善する可能性を秘めている。今後、ARの作用機構を解明するとともに、排水性舗装と呼ばれる低騒音・走行安全性に優れた最近注目されている舗装への適用を図り、将来、生活道路から主要幹線道路まで幅広い用途で利用できる「夢の舗装材料」を目指したい。

References

- 1) Japan Automobile Tyre Manufacturers Association: "Nippon no Tire Sangyo 2003", Japan Automobile Tyre Manufacturers Association, Tokyo, p.17 (2003)

- 2) ASTM D6114-97, ASTM International, PA (2002)
- 3) Usmani, A. M.: Asphalt Science and Technology, Marcel Dekker, NY, p.385 (1997)
- 4) Takeichi, H., Maruyama, T., Hokari, K., Nomura, K., Yamada, Y.: Japan Society of Civil Engineers, 59th JSCE Annual Meeting, 5-557, p.1111 (2004)
- 5) Japan Asphalt mixture Association: Asphalt Gozai, No.68 (2003)

日本語表記参考文献

- 1) 日本自動車タイヤ協会：日本のタイヤ産業2003, p.17 (2003), 日本自動車タイヤ協会, 東京
- 4) 武市秀雄, 丸山輝彦, 帆刈浩三, 野村健一郎, 山田佳則：土木学会第59回年次学術講演会要旨集, 5-557, p.1111, (2004)
- 5) 日本アスファルト合材協会：平成14年度アスファルト合材の現況, アスファルト合材, No.68 (2003)

*

*

*

*

*

本会発行出版物ご案内

ゴ ム 工 業 便 覧

(第四版)

B 5 版 1350 頁

(1994.1 発行)

定 価 36,750 円 (税込)

会員価格 33,075 円 (税込)

送 料 (当方負担)

〔 ゴムの物性から製造, 加工, 製品, 測定, 分析に至るまでを, 現在第一線で活躍中の斯界の権威者150余名の執筆陣により, 最も新しいゴムの科学・技術を提供いたします。 〕

* お申込の場合は, 必要事項(送付先住所, 勤務先, 氏名, 電話番号など)をご記入のうえ, FAXして下さい。

社団法人 日本ゴム協会 図書係あて

FAX 03 (3401) 4143