

# 改質アスファルト混合物のアスファルト合材工場での製造方法と配合設計

三田村文寛・米村 豊志<sup>\*1</sup>・荒井 克彦<sup>\*2</sup>・町原 秀夫<sup>\*2</sup>

## 要 旨

再生パラフィンを追加したアスファルト混合物(以下では改質アスファルト混合物と称する)は耐塑性流動性が向上する。改質アスファルト混合物は、再生パラフィンの添加率の増加に応じて、マーシャル安定度試験における骨材間隙率が小さくなる。この特性を考慮した改質アスファルト混合物の新たな配合設計方法を先に提案した。この提案は室内試験に基づいており、実際に適用するためには、アスファルト合材工場での製造方法や製造した改質アスファルト混合物の耐塑性流動性を検討する必要がある。本論文では、アスファルト合材工場で改質アスファルト混合物を製造し、再生パラフィンの添加率と動的安定度の関係を検討した。粉末と液体の再生パラフィンを比較したところ、液体の再生パラフィンを用いた方が動的安定度のばらつきが小さく、耐塑性流動性に応じた配合設計をより適確に実施できる。液体の再生パラフィンを用いた改質アスファルト混合物の動的安定度は再生パラフィンの添加率の増加に応じて直線的に増加する。この結果に基づき、改質アスファルト混合物に求められる耐塑性流動性に応じた再生パラフィンの配合設計方法を示す。

キーワード：耐流動性、アスファルト合材工場での製造、改質アスファルト混合物、再生パラフィン

## 1. はじめに

近年の交通車両の大型化と交通量の増加に伴い、道路舗装においては、塑性流動によるわだち掘れ対策が必要となっている。また、資源循環型社会を推進するためには廃棄物の有効利用を図る必要がある。著者らは、電線被覆管に用いられる架橋ポリエチレン廃材を熱分解して得られる再生パラフィンを改質剤として添加した改質アスファルト混合物を開発・製造し、耐塑性流動性を向上させた舗装材として用いる研究を積み重ねてきた。

先に、室内試験に基づいて、従来のマーシャル安定度試験に基づく配合設計方法<sup>2)</sup>(以下では従来法と称する)に代わる改質アスファルト混合物の新しい配合設計方法を提案した<sup>1)</sup>。この方法は、次式に示すように従来法で求めたストレートアスファルト混合物の設計アスファルト量  $A$  に、同じくマーシャル安定度試験結果から求めた骨材間隙の収縮比率  $X$  の三乗根と改質アスファルトのストレートアスファルトに対する比重の比率  $\gamma_{ap} / \gamma_a$  を乗じて改質アスファルト混合物の設計アスファルト量  $A_p$ (重量%) を求める。

$$A_p = A X^{1/3} \cdot \gamma_{ap} / \gamma_a \quad (1)$$

ここで、 $\gamma_{ap}$ ：改質アスファルトの比重、 $\gamma_a$ ：アスファルトの比重である。この配合設計方法を VMA (Voide of Mineral Aggregate) 修正法と称する。VMA 修正法による改質アスファルト混合物は、従来法による改質アスファルト混合物より塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性が向上することを示した<sup>1)</sup>。VMA 修正法におけるパラメータは室内試験で決定する。上述の提案を実際に利用するためには、実際のアスファルト合材

工場で製造する改質アスファルト混合物に対する検証を行っておく必要がある。本論文では、アスファルト合材工場で製造する改質アスファルト混合物(以下では現場作製と称する)の、耐塑性流動性に応じた再生パラフィンの配合設計方法を示すために次の検討を行う。1) 改質アスファルト混合物の現場作製方法、2) 動的安定度による現場作製方法の評価、3) 現場作製改質アスファルト混合物の動的安定度、4) VMA 修正法の適用性、5) 耐塑性流動性に応じた現場作製改質アスファルト混合物の配合設計方法。

## 2. アスファルト合材工場における改質アスファルト混合物の製造方法

### 2.1 改質アスファルトの製造方法

次の2つの製造方法がある。1) プレミックス法：メーカーでストレートアスファルトと再生パラフィンを混合して改質アスファルトを製造し、アスファルト合材工場に搬入する。2) プラントミックス法：アスファルト合材工場で再生パラフィンをストレートアスファルトに添加して混合する。

プレミックス法は、改質アスファルトの品質管理が容易で改質アスファルト混合物の性状も安定するが、再生パラフィンとストレートアスファルトを混合する大型タンクなどの大規模な設備を必要とし、既存の設備は太平洋ベルト地帯に集中している。その他の地方では、新たな設備が必要となるので経済的に困難である。また、プレミックス法では、近年の使用頻度が高い再生骨材を用いる場合の配合設計が難しい。本論文ではプラントミックス法で検討を行う。

<sup>\*1</sup> 日広開発株式会社 <sup>\*2</sup> 福井大学

## 2.2 液体・固体の再生パラフィンと混合方法

再生パラフィンは電線被覆管に用いられる架橋ポリエチレン廃材を熱分解して得られる<sup>1)</sup>。生成時は液体であり、常温で自然冷却されて固体になる。ストレートアスファルトに、液体と固体のどちらの再生パラフィンを添加・混合するかが問題となる。固体の場合、混合しやすくするために再生パラフィンを破碎して粉末状態にし、アスファルト合材工場に運搬し、混合設備に直接投入する(以下では固体法と称する。図-1<sup>3)</sup>参照)。液体の場合、保温タンクに貯留してアスファルト合材工場に運搬し、アスファルト貯蔵供給ラインと別のラインである脱色アスファルト貯蔵供給ラインなどを用いて計量設備に送る(以下では液体法と称する)。この場合、ストレートアスファルトより先に再生パラフィンを計量設備に送ることが重要である。再生パラフィンは、後に送られるストレートアスファルトより密度が小さいので計量設備内で対流が生じ、再生パラフィンとストレートアスファルトの混合の度合いが大きくなるからである(図-1参照)。

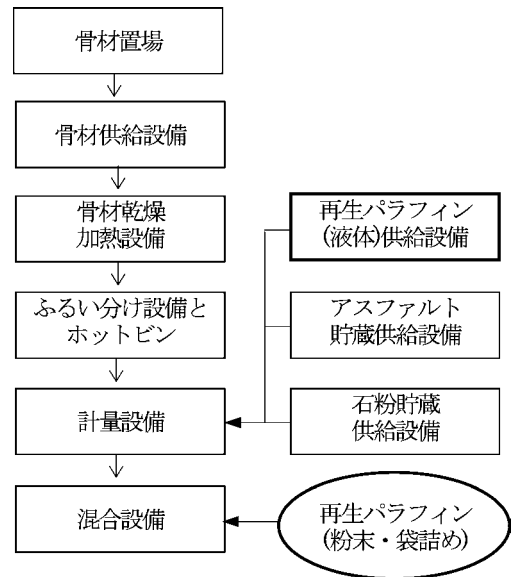


図-1 アスファルト合材工場製造設備フロー図

表-1 設計アスファルト量

(単位：%)

再生パラフィン 添加率 (%)	0	2	4	6	8
密粒度アスファルト 混合物 (13)	5.5	5.4	5.3	5.3	5.3
密粒度アスファルト 混合物 (20)	5.4	5.2	5.2	5.2	5.2

## 3. アスファルト合材工場における改質アスファルト混合物製造方法の評価

### 3.1 製造方法の評価方法

先の室内作製供試体<sup>1)</sup>で確認した改質アスファルト混合物の耐塑性流動性の、現場作製の改質アスファルト混合物における再現性によりアスファルト合材工場における製造方法を評価する。本論文の改質アスファルト混合物は耐塑性流動性の向上が目的なので、「舗装調査・試験法便覧(平成19年6月(社)日本道路協会)」のホイールトラッキング試験による動的安定度と、再生パラフィンの添加率による動的安定度のばらつき度合で上述の評価を行う。供試体として、液体法・固体法で製造した改質アスファルト混合物を用いる。粒度は密粒度とし、最大粒径20mmとする(以下では密粒度アスファルト混合物(20)と称する)。固体法では、再生パラフィンを1mm以下の粒径に破碎した。再生パラフィンの添加率は、固体法では2, 4, 6, 8重量%とした。液体法では、計量設備でアスファルト計量装置の最小の計測可能量が20Nで、4重量%未満の計量ができないので4, 6, 8重量%とした。再生パラフィンの添加率は、ストレートアスファルトに対する比率である。

液体法・固体法ともに、設計アスファルト量は前述のVMA修正法により先に求めた値<sup>1)</sup>を用いた(表-1参照)。

液体法での混合温度は、使用したストレートアスファルトの温度-粘度曲線により155℃とした。固体法での混合温度は、再生パラフィンを融解・混合し易くするため、ストレートアスファルト混合物の混合温度よ

り10℃高くして165℃とした。

混合時間は、液体法では、骨材のみの混合(dry-mixing)時間8秒、アスファルト噴射後の混合(wet-mixing)時間38秒とした。固体法では、融解するまでの時間を考慮して、dry-mixing時に添加して、ストレートアスファルト混合物のwet-mixing時間より10秒長くし48秒とした。

### 3.2 試験結果と製造方法の評価

液体法・固体法で作製した改質アスファルト混合物(以下では現場供試体と称する)と、先の室内作製供試体<sup>1)</sup>(室内供試体と称する)における再生パラフィン添加率と動的安定度の関係を図-2に示す。図中の $R^2$ は相関係数の2乗を表す。液体法・固体法による現場供試体の動的安定度は、室内供試体の動的安定度より小さいが、室内供試体と同様に再生パラフィン添加率が大きくなるにつれて直線的に大きくなる。液体法・固体法による現場供試体の動的安定度はほぼ等しいが、図中の $R^2$ から見て、液体法での動的安定度のばらつき度合いは室内供試体とほぼ同じで、固体法での動的安定度より小さい。このため、耐塑性流動性に応じた配合設計がより適確に行えると考えられる。また、固体での混合温度は10℃高く、混合時間は10秒長い。以

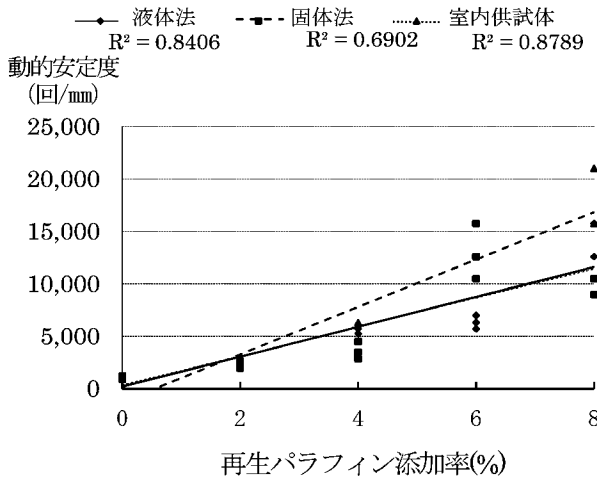


図-2 製造方法と動的安定度

上のことから液体法が優れていると考えられるので、以下では液体法での検討を行う。

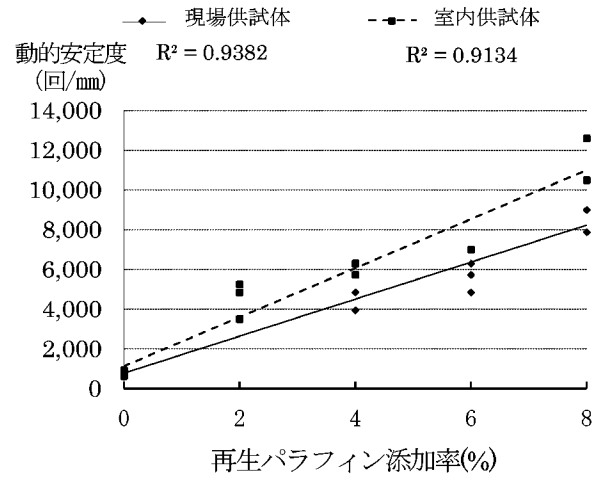
#### 4. 改質アスファルト混合物の動的安定度

##### 4.1 試験方法

多数の現場供試体（液体法）について動的安定度を測定する。改質アスファルト混合物の種類は、密粒度アスファルト混合物 (13) と (20) とする。試験方法，再生パラフィン添加率，現場供試体の混合温度と混合時間は 3. と同じである。

##### 4.2 試験結果

現場供試体と室内供試体における再生パラフィン添加率と動的安定度の関係を図-3 に示す。現場供試体の密粒度アスファルト混合物 (20) の試験結果は 3. と同じものである。室内供試体は、先の室内試験<sup>1)</sup>の結果である。室内供試体と同様に、密粒度アスファルト混合物 (13), (20) とともに、現場供試体では、再生パラフィン添加率が大きくなるにつれて動的安定度が直線的に大きくなる。現場供試体の動的安定度のばらつき度合 ( $R^2$ ) は室内供試体のばらつき度合いと同程度である。しかし、現場供試体の動的安定度自体は、密粒度アスファルト混合物 (13), (20) とともに室内供試体に比べて小さい。この原因として次の 2 点が考えられる。1) 現場供試体はプラントミックス法なので、再生パラフィンとストレートアスファルトの混合度合いが不十分で改質効果が小さく、耐塑性流動性が低下する、2) 現場供試体に対する VMA 修正法の適用性が不十分で、配合設計で求めた設計アスファルト量が耐塑性流動性を発現させる最適なアスファルト量と乖離している可能性がある。2) について、5. で検討する。



(a) 密粒度アスファルト混合物 (13)

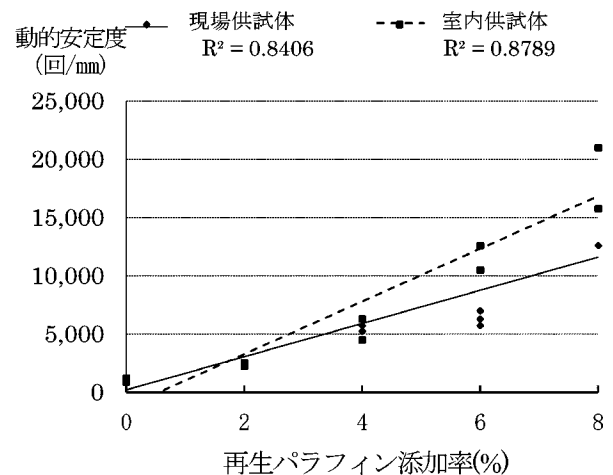


図-3 再生パラフィンの添加率と動的安定度

#### 5. 現場作製の改質アスファルト混合物における VMA 修正法

##### 5.1 VMA 修正法の評価方法

従来法と比較して、VMA 修正法が塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性について良い結果を与えることを示したが<sup>1)</sup>、VMA 修正法による「設計アスファルト量」が改質アスファルト混合物の耐塑性流動性を発現させる最適なアスファルト量か否かは明らかではなかった。そこで、現場作製の改質アスファルト混合物における VMA 修正法の適用性について次の検討を行う。1) 現場作製および室内作製の改質アスファルト混合物で、現場供試体と室内供試体に対するマーシャル安定度試験で求めた骨材間隙率と式 (1) によるアスファルト量（照査アスファルト量と称する）と、VMA 修正法による設計アスファルト量（室内試験に基づく）を照査する。設計アスファルト量と照査アスファルト量の差は、室内供試体と現場供試体における骨材間隙率の違いに基づくことになる。2) VMA 修正法による現場作製の改質

アスファルト混合物の動的安定度と、VMA 修正法と従来法による室内作製の改質アスファルト混合物の動的安定度を比較し、アスファルト量と動的安定度の関係を検討する。

## 5.2 マーシャル安定度試験方法

改質アスファルト混合物の種類は、密粒度アスファルト混合物 (13) と (20) とする。再生パラフィンの添加率、現場作製の改質アスファルト混合物の混合温度と混合時間は、3. と同じである。室内作製の改質アスファルト混合物の混合温度は、現場作製と同じ 155℃ であり、予めストレートアスファルトと液体の再生パラフィンを 1 分間混合して改質アスファルトを作製した。改質アスファルトと骨材を容量 30 l・回転数 0.47 回/s の室内ミキサーを用いて 155℃ で 45 秒間混合して改質アスファルト混合物を作製した。

## 5.3 試験結果：骨材間隙率

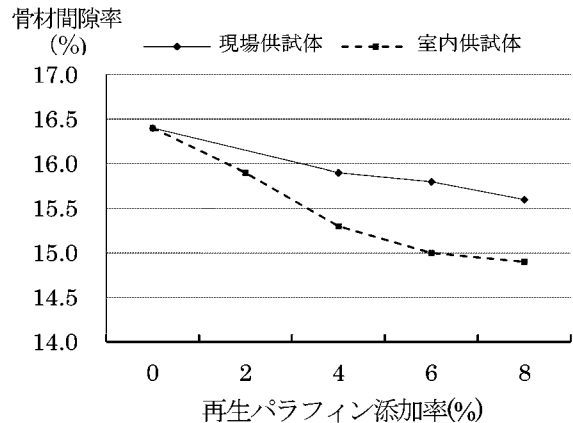
現場供試体と室内供試体について、再生パラフィン添加率とマーシャル安定度試験で求めた骨材間隙率の関係を図-4 に示す。現場供試体と室内供試体で、密粒度アスファルト混合物 (13)、(20) とともに再生パラフィン添加率が増加すると骨材間隙率は小さくなるが、現場供試体は室内供試体と比較して骨材間隙率の減少の割合が小さい。

## 5.4 設計アスファルト量、現場供試体と室内供試体による照査アスファルト量の比較

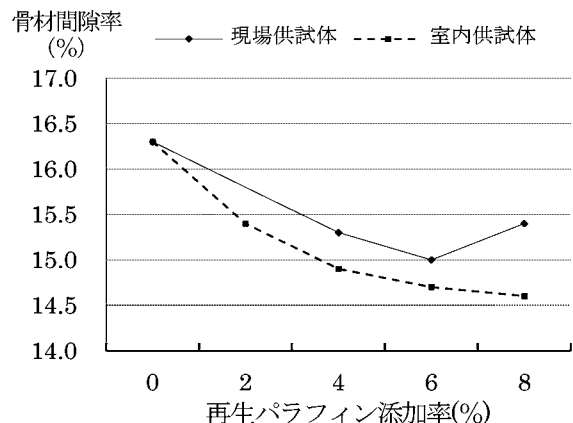
VMA 修正法による設計アスファルト量 (表-1)、現場供試体と室内供試体の照査アスファルト量を表-2 に示す。耐塑性流動性を重視する場合、アスファルト量を少なめに設定する場合が多い<sup>2)</sup>。密粒度アスファルト混合物 (13)、(20) における設計アスファルト量は、現場供試体の照査アスファルト量と比較して、再生パラフィン添加率 4～8% で 0.1% 小さく、室内供試体の照査アスファルト量とほぼ同じである。VMA 修正法による設計アスファルト量は、現場供試体の照査アスファルト量より小さい。したがって、現場供試体の動的安定度が小さい原因は、現場供試体の耐塑性流動性を発現させる最適なアスファルト量に対して、VMA 修正法による設計アスファルト量が多すぎるための耐塑性流動性の低下ではないと考えられる。

## 5.5 動的安定度の比較

現場供試体、VMA 修正法と従来法による室内供試体について、再生パラフィン添加率と動的安定度の関係を図-5 に示す。現場供試体、VMA 修正法による室内供試体の動的安定度、図-3 に示した値の再生パラフィン添加率ごとの平均値を示す。従来法による室内供試体



(a) 密粒度アスファルト混合物(13)



(b) 密粒度アスファルト混合物(20)

図-4 再生パラフィン添加率と骨材間隙率

表-2 設計アスファルト量及び現場供試体と室内供試体による照査アスファルト量

(a) 密粒度アスファルト混合物 (13)

(単位: %)

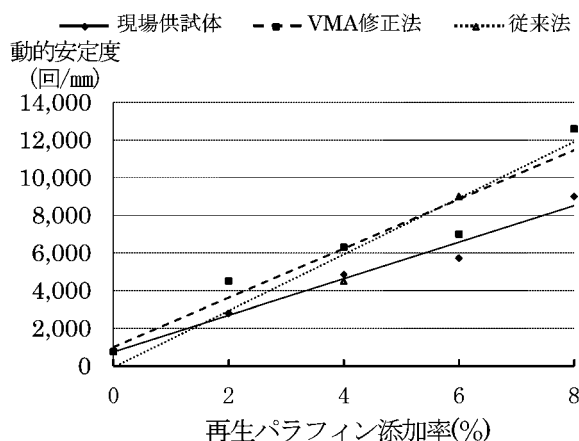
再生パラフィン添加率 (%)	0	2	4	6	8
現場供試体	5.5	—	5.4	5.4	5.4
室内供試体	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3
設計アスファルト量	5.5	5.4	5.3	5.3	5.3

(b) 密粒度アスファルト混合物 (20)

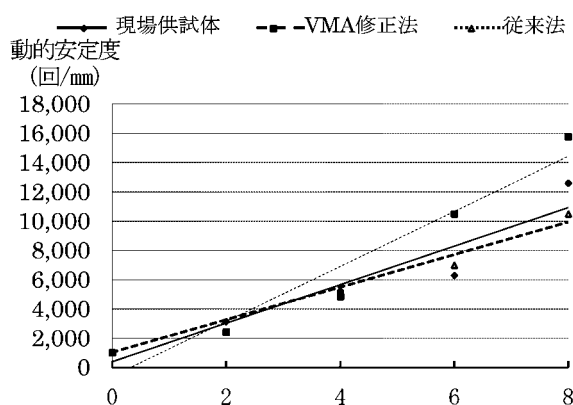
(単位: %)

再生パラフィン添加率 (%)	0	2	4	6	8
現場供試体	5.4	—	5.3	5.3	5.3
室内供試体	5.4	5.3	5.2	5.2	5.2
設計アスファルト量	5.4	5.2	5.2	5.2	5.2

の動的安定度は、先の試験結果<sup>1)</sup>の値の再生パラフィン添加率ごとの平均値を示す。密粒度アスファルト混合物 (13) においては、VMA 修正法による室内供試体と従来法による室内供試体の動的安定度はほぼ同じである。現場供試体の動的安定度は室内供試体と比較し



(a) 密粒度アスファルト混合物(13)



(b) 密粒度アスファルト混合物(20)

図-5 動的安定度の比較

表-3 VMA 修正法と従来法による設計アスファルト量

(a) 密粒度アスファルト混合物 (13)

(単位: %)

再生パラフィン 添加率 (%)	0	2	4	6	8
VMA 修正法	5.5	5.4	5.3	5.3	5.3
従来法	5.5	5.2	5.1	5.0	5.0

(b) 密粒度アスファルト混合物 (20)

(単位: %)

再生パラフィン 添加率 (%)	0	2	4	6	8
VMA 修正法	5.4	5.2	5.2	5.2	5.2
従来法	5.4	5.0	4.9	4.9	4.85

て小さい。密粒度アスファルト混合物 (20) においては、VMA 修正法による室内供試体の動的安定度は大きく、現場供試体の動的安定度は従来法による室内供試体の動的安定度とほぼ同じである。従来法による設計アスファルト量は少ないが (表-3 参照)、現場供試体のアスファルト量は VMA 修正法による設計アスファルト量と同じなので、現場供試体の動的安定度が小さい原因は、現場供試体の耐塑性流動性を発現させる最適なアスファルト量に対して、VMA 修正法による設計アスファルト量が少ないためのアスファルト結合力不足によるものではないと考えられる。

## 5.6 VMA 修正法の適用性

VMA 修正法による設計アスファルト量は、現場供試体の照査アスファルト量と大差なく、室内供試体の照査アスファルト量とほぼ等しい。現場供試体の動的安定度が室内供試体の動的安定度より小さい原因は、現場供試体の耐塑性流動性を発現させる最適なアスファルト量に対して、VMA 修正法によるアスファルト量の過多または過少によるものではないと考えられる。

再生パラフィン添加率が大きくなるにつれて改質アスファルト混合物の骨材間隙率が小さくなる理由は、凝固の際の再生パラフィンの収縮率が大きいので、添加率が大きくなるにつれて骨材間隙率が小さくなることである<sup>1)</sup>。現場供試体の骨材間隙率の減少度合が室内供試体と比べて小さいのは、再生パラフィンの強い収縮性が改質アスファルトの特性に十分に現れず、改質効果が小さくなっていると考えられる。

以上のことから、現場供試体に対する VMA 修正法の適用は問題ないといえる。現場供試体の動的安定度が室内供試体より小さい原因は、プラントミックス法での再生パラフィンとストレートアスファルトの混合度合が不十分なために改質効果が小さくなり耐塑性流動性が低下すると推定される。

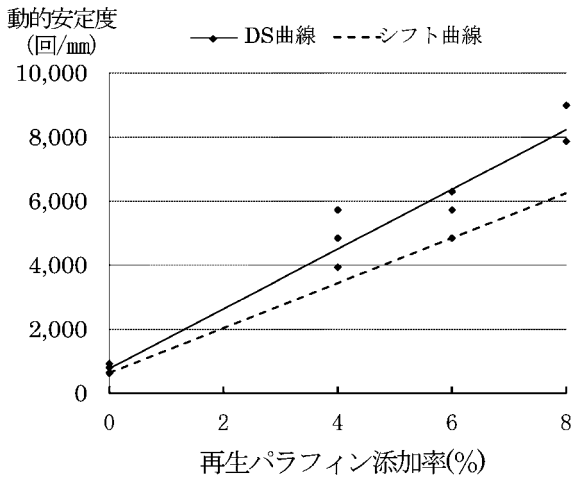
## 6. 耐塑性流動性に応じた再生パラフィンの配合量

### 6.1 再生パラフィンの配合量の算出方法

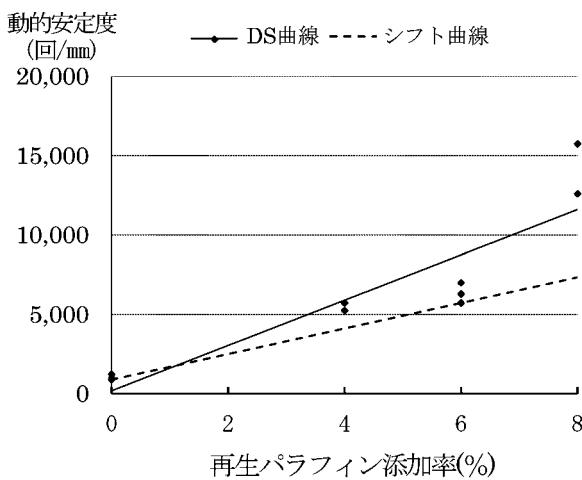
現場作製の改質アスファルト混合物にも、VMA 修正法の適用性を確認したので、実際の配合設計に用いる。前述のように、現場作製の改質アスファルト混合物の動的安定度は再生パラフィンの添加率に対して直線的に大きくなる。路面設計での耐塑性流動性は動的安定度で表すので、目標とする動的安定度に応じて再生パラフィンの添加率を求め、配合量を算出できる。これまでの試験結果から、改質アスファルト混合物の動的安定度  $DS$  (回/mm) と再生パラフィン添加率  $\chi$  (重量%) の関係は近似的に次式で表わされる。

$$DS = A \chi + B \quad (2)$$

ここで、 $A, B$ : 実験定数である。安全側を考慮して、図



(a) 密粒度アスファルト混合物(13)



(b) 密粒度アスファルト混合物(20)

図-6 再生パラフィンの添加率と動的安定度

表-4 目標の動的安定度とパラフィン添加率  
(単位:重量%)

動的安定度 (回/mm)	密粒度アスファルト 混合物 (13)		密粒度アスファルト 混合物 (20)	
	計算値	採用値	計算値	採用値
1,500	2	4	1	4
3,000	4	4	3	4
5,000	7	7	6	7

-3 に示した現場作製の改質アスファルト混合物の再生パラフィン添加率と動的安定度の関係 (以下では DS 曲線と称する) を全ての測定値の下方にシフトする。

DS 曲線とシフトした曲線 (以下ではシフト曲線称する) を図-6 に示す。目標の動的安定度に応じて、再生パラフィン添加率をシフト曲線から求める。

## 6.2 目標の動的安定度と再生パラフィンの添加率

目標の動的安定度を、舗装の構造に関する技術基準<sup>4)</sup>及び路面設計の性能指標値<sup>5)</sup>に用いられている 1,500, 3,000, 5,000 回/mm とする。目標の動的安定度と再生パラフィンの添加率の関係を表-4 に示す。ただし、少数未満を切り上げて整数値とした。実際の改質アスファルト混合物の配合設計は、安全側を考えて、混合物の種類で再生パラフィン添加率の大きい方の値に統一して採用する。液体法においては、前述のように再生パラフィン添加率 4 重量%未満の計量ができないので、最小でも 4 重量%とする。以上のことから、動的安定度 1,500, 3,000 回/mm では、再生パラフィン添加率 4 重量%, 5,000 回/mm では 7 重量%とする。

## 7. まとめ

再生パラフィンを改質剤として添加したアスファルト混合物の、実際のアスファルト合材工場での製造方法を検討した。プラントミックス法で、液体の再生パラフィンをストレートアスファルトに添加・混合する方法が優れていると判断し、この方法で現場作製の改質アスファルト混合物の VMA 修正法の適用性を検討した。VMA 修正法の適用性を確認したうえで、路面設計で求められる耐塑性流動性に応じた再生パラフィンの添加率を明らかにした。得られた主な知見は次のとおりである。

- 液体法・固体法による現場供試体の動的安定度は、室内供試体の動的安定度より小さいが、再生パラフィン添加率に応じて直線的に大きくなる。
- 液体法・固体法による現場供試体の動的安定度はほぼ等しいが、液体法での動的安定度のばらつき度合は固体法より小さい。この結果と、固体法は液体法に比べて、混合温度が 10℃ 高く、混合時間が 10 秒長いことから、液体法が優れていると判断した。
- 密粒度アスファルト混合物 (13), (20) とともに、再生パラフィン添加率に応じて、現場供試体の動的安定度は直線的に大きくなるが、室内供試体の動的安定度より小さい。
- VMA 修正法による設計アスファルト量と現場供試体の実際アスファルト量を比較した結果、再生パラフィン添加率 4 ~ 8% でのアスファルト量の差は 0.1% であり、同様に算出した室内供試体の実際アスファルト量とほぼ同じである。
- 現場供試体の動的安定度が室内供試体より小さくなる原因は、アスファルト量の過多、過少ではなく、プラントミックス法における再生パラフィンとストレートアスファルトの混合度合が不十分で改質効果が小さく、耐塑性流動性が低下するためと考えられる。

以上の結果から、実用上の改質アスファルト混合

物における再生パラフィン添加率は、ストレートアスファルトに対して、目標の動的安定度 1,500, 3,000 回/mmでは、4 重量%, 5,000 回/mmでは、7 重量%となる。ただし、路面の耐塑性流動性には舗装材の締固め度が影響するとされており<sup>5)</sup>、改質アスファルト混合物においても締固め度と耐塑性流動性の関係を今後に確認する必要がある。

## 謝辞

本研究を進めるに当たり多大の御協力をいただいた北陸研開発株式会社の関係各位に感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 三田村文寛, 五十嵐豊, 米村豊志, 荒井克彦, 田上秀一: 再生パラフィンを添加したアスファルト混合物の配合設計, 土木学会舗装工学論文集, 第 14 巻 pp.87-94,2009.
- 2) 舗装施工便覧(平成 18 年版):(社) 日本道路協会, pp.95-105,2006.
- 3) アスファルト混合所便覧:(社) 日本道路協会, 1996.
- 4) 舗装の構造に関する技術基準・同解説(社) 日本道路協会, pp.6-9,2001.
- 5) 舗装設計便覧(平成 18 年版):(社) 日本道路協会, pp.48-105,2006.
- 6) 舗装性能評価法:(社) 日本道路協会, pp.20-38,2006.