

フィラーがアスファルト混合物の物性に及ぼす機械的機能に関する基礎的研究

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学分野 学生会員 ○石井 練真
長岡技術科学大学 環境社会基盤系 正会員 高橋 修

1. はじめに

アスファルト混合物は図-1 に示すイメージのように、粗骨材、細骨材、フィラーおよびアスファルトで構成されており、これら素材の特性および配合条件がアスファルト舗装の供用性能を大きく左右している。その中でもフィラーは、アスファルト混合物中の骨材間隙を充填するとともに、骨材粒子の表面に接着して、混合物の力学的性能を向上させる役目を果たしている。

一般に、アスファルト混合物には石灰石微粉末の石粉がフィラーとして用いられており、その使用量や粒度は舗装施工便覧¹⁾に規定されている。しかし、これらの規定値は長年の実績や経験に基づいて定められたものであり、フィラーが混合物のなかで果たす役割や、その物性が混合物の力学的挙動と長期供用性にどのように影響しているかについては、必ずしも体系的に整理されているとは言い難い。

循環型社会の形成に向け、他産業の副産物を舗装材料として有効利用する検討が進められており、石炭灰をアスファルト混合物のフィラーとして使用する研究も進められている²⁾。このような材料は、フィラーの代替材としての適用が期待されている一方で、石粉とは異なる特性も有しており、混合物に及ぼす影響を十分に明確化しないまま適用することは、舗装の性能や耐久性に悪影響を及ぼす可能性がある。このような背景から、フィラーの基本的な物性がアスファルト混合物の力学特性や供用性に及ぼす影響を明確にし、フィラーが混合物に果たす機械的な効能を明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、フィラーの「量」と「質」に着目して、それぞれがアスファルト混合物の物性に及ぼす影響について検討した。

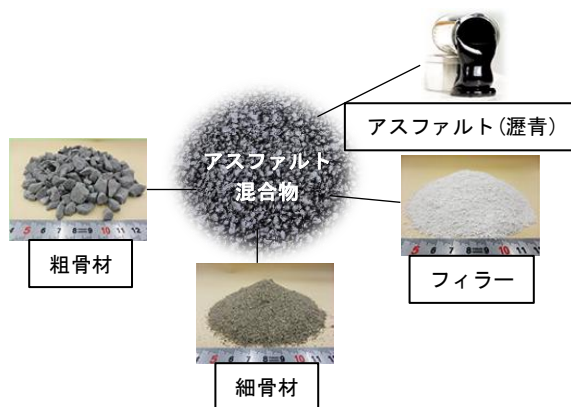


図-1 アスファルト混合物の構成材料

2. 使用したフィラー材料

本研究では、フィラーとして石粉、普通ポルトランドセメント、回収ダスト、フライアッシュ (FA)、廃白土燃焼灰、コンクリートスラッジ (CS) の6種類を使用した。フィラーの評価にあたっては、石粉を基準材料とし、既に実用化されている鉱物系フィラーとしてセメント、ダスト、FA を、廃棄物由来のフィラーとして廃白土燃焼灰および CS を比較の対象とした。

各種フィラーの基本的な性状を把握するため、舗装調査・試験法便覧³⁾の細骨材の密度試験方法を用いて密度を測定した。また、レーザー回折・散乱法により粒度分布、ブルナウアー・エメット・テラー理論により比表面積を測定した。得られた密度、粒度分布の最頻粒径および比表面積を表-1 に示す。各項目ともフィラーの種類によってかなりの幅があり、石粉を標準と考えると焼却灰と CS はかなり比表面積が大きく、特に CS は最頻粒径も桁違いに大きい。

表-1 各種フィラーの基本物性

性能項目	密度 (g/cm ³)	最頻粒径 (μm)	比表面積 (m ² /g)
石粉	2.705	45.613	1.080
セメント	3.259	21.205	0.803
ダスト	2.145	20.303	3.822
FA	2.221	16.427	2.336
燃焼灰	1.831	45.613	20.686
CS	2.108	211.044	67.188

3. アスファルト混合物の最適アスファルトの比較

3.1 検討概要

フィラーの量および種類が最適アスファルト量（OAC）に及ぼす影響を検討するため、フィラーのみを変化させた各混合物について配合設計を行った。フィラー量の影響については、石粉量を6%、3%および0%とした配合で比較した。フィラーの種類の影響については、石粉、普通ポルトランドセメント、回収ダスト、FA、廃白土燃焼灰およびCSを6%配合した混合物で比較した。また、石粉と廃白土燃焼灰を1:1の割合で混合したものについても検討に加えた。

3.2 結果および考察

フィラー量の違いに対するOACを図-2.1に示す。フィラー量の減少に伴ってOACは増加しており、ここでの配合条件では、フィラー量の違いが設計アスファルト量にかなり影響することが確認される。ただし、フィラー量の変更に伴って細骨材配合や容積特性も変化することから、この傾向をフィラーによるアスファルトの保持作用のみで説明することはできない。

フィラー種類の違いに対するOACを図-2.2に示す。石粉の配合が6.0%であるのに対して、廃白土燃焼灰およびCSの配合はより多い量であった。これらの材料は石粉に比べて比表面積が大きく、アスファルトと接触する表面の違いがOACに影響したものと考えられる。一方、ダストおよびFAは石粉より比表面積が大きいものの、OACは石粉と同程度であった。また、セメントは石粉よりも比表面積が小さいものの、OACは石粉よりも多かった。したがって、OACの違いは比表面積だけでなく、粒度分布、密度および粒子形状等を含めて検討する必要がある。

石粉と廃白土燃焼灰を混合した配合のOACは6.1%であり、廃白土燃焼灰単独の6.7%よりも少なく、石粉のOACとほぼ同じであった。このことから、別のフィラー同士を混合した場合は、個々のフィラー特性が別々に発現するのではなく、別の一つのフィラー材料としての特性を有するものと捉えられる。

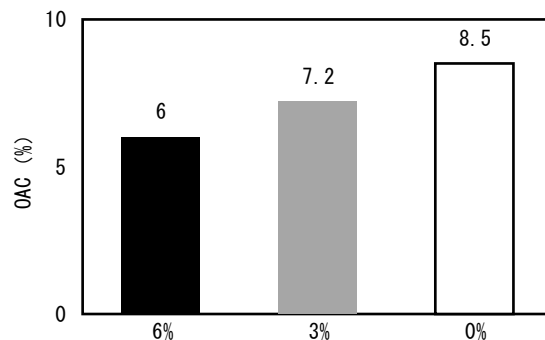


図-2.1 石粉量と最適アスファルト量の関係

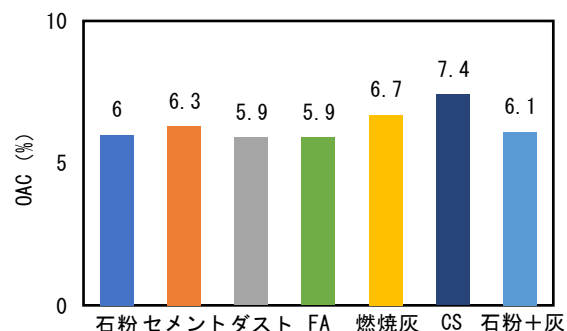


図-2.2 各種フィラーを用いた混合物の最適アスファルト量の関係

4. FDT 試験によるフィラービチューメンの評価

4.1 評価試験の概要

フィラーの量および種類がフィラービチューメンの引張特性に及ぼす影響を評価する目的で、舗装調査・試験法便覧³⁾の伸度試験方法を参考に、バインダー延伸時の荷重を計測する荷重測定型伸度試験（Force Ductility Test, FDT）を実施した。フィラー量の影響については、フィラーとアスファルトの比率（F/A）を変化させ、アスファルト単体と比較した。フィラー種類の影響については、6種類のフィラーを用いたフィラービチューメンを比較した。この際、F/A=1:1ではフィラーとアスファルトを均質に混合できなかったため、種類比較の試験はF/A=1:2で実施した。評価には、試験時の荷重-変位の関係を用いた。

4. 2 試験結果および考察

F/A を変化させた場合の荷重-変位の関係を図-3.1 に示す。アスファルト単体に比べて、フィラーを混合した試料では最大荷重が増加した。また、F/A=1:2 よりも F/A=1:1 の試料のほうが全体的に荷重が大きく、最大荷重の値も大きい。この結果から、フィラーの混合およびその割合の増加によって、引張変形に対する抵抗性が増加することが確認される。

F/A=1:2 の配合における各種フィラーの荷重-変位の関係を図-3.2 に示す。石粉以外のフィラーは、石粉よりも最大荷重が大きく、特に廃白土燃焼灰および CS は石粉の配合の 2.5 倍程度も最大荷重が大きい。最大荷重となる変位量はどのフィラーもほぼ同じで、概ね 15 mm の変位でピークを迎えている。その一方で、廃白土燃焼灰と CS では、それぞれ約 70 mm と約 60 mm の変位で荷重がほぼゼロになった。このことから、フィラーの種類は最大荷重に加えて、最大荷重に達した後の変形挙動にも影響することがわかる。

廃白土燃焼灰と CS は、他のフィラー材料よりも比表面積が大きく、アスファルトとの接着がより緊密であることから、このような引張挙動に違いが表れたものと推察される。ただし、比表面積が石粉よりも小さいセメントも最大荷重が石粉よりも大きいことから、粒度分布や粒子形状等の特性もフィラービチューメンの引張特性に関係していると考えられる。また、最大荷重が大きいことが、混合物におけるバインダー性能の高さに直結するとは限らない。フィラービチューメンの引張特性とアスファルト混合物の物性との関係については、次章において検討している。

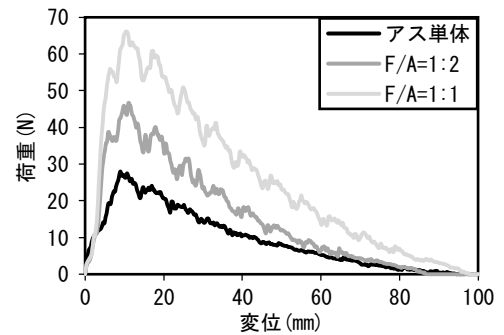


図-3.1 F/A による荷重-変位関係の比較

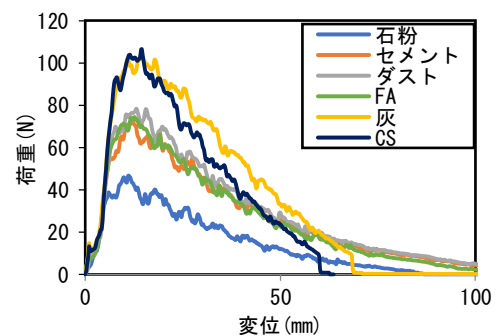


図-3.2 フィラー種類による荷重-変位関係の比較 (F/A=1:2)

5. アスファルト混合物の物性評価

5.1 評価試験の概要

フィラーの量および種類がアスファルト混合物の物性に及ぼす影響について評価するため、舗装調査・試験法便覧³⁾に基づいて、マーシャル安定度試験と水浸マーシャル安定度試験を実施した。マーシャル安定度試験では安定度およびフロー値を求め、水浸マーシャル安定度試験では水浸後の安定度を求めた。そして、水浸前後の安定度から残留安定度を算出した。フィラー量の影響については石粉の量を 6%, 3%, 0% 配合したものを、フィラー種類の影響については 6 種のフィラーを使用して配合したものをそれぞれ比較した。また、石粉と廃白土燃焼灰を 1:1 で混合した配合についても検討に加えた。

5.2 試験結果および考察

石粉量を変化させた混合物の安定度、フロー値および残留安定度を図-4.1 に示す。石粉量の減少に伴い、安定度は 8.1 kN から 5.8 kN に低下した一方で、フロー値と残留安定度には、明確な傾向は認められなかった。安定度の低下には、石粉量の減少に加えて、OAC の増加も関係しているものと考えられる。

フィラーの種類を変化させた混合物の安定度、フロー値および残留安定度の結果を図-4.2 に示す。種類別では、セメント、ダストおよび FA の安定度は石粉と同程度であり、廃白土燃焼灰と CS は石粉より高かった。フロー値は FA を使用したものが最も大きかった。一方、CS の残留安定度は 81.3% と最も低く、水浸前の安定度が高くても、水浸後の安定度保持が良好とは限らなかった。また、石粉と廃白土燃焼灰の混合は、廃白土燃焼灰単独より安定度と残留安定度が低かった。以上より、フィラーの評価には、通常のマーシャル安定度試験

験に加えて水浸マーシャル安定度試験も実施して、水や熱による感受性についても考慮する必要があると言える。

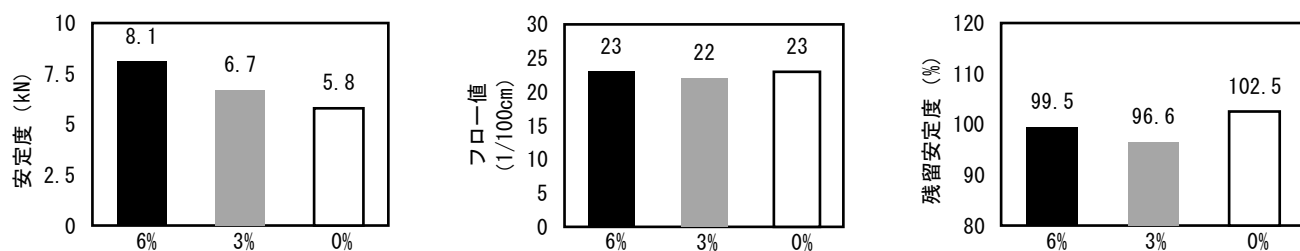


図-4.1 石粉量による混合物物性の比較

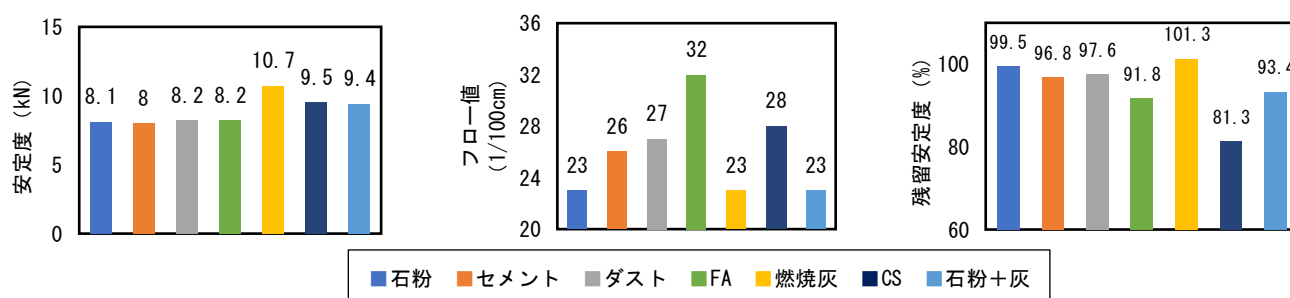


図-4.2 フィラー種類による混合物物性の比較

6. まとめ

本研究では、フィラーの量および種類が、OAC、フィラービチューメンの引張特性および混合物の基本物性に及ぼす影響について検討した。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・石粉量の減少に伴い、OAC は増加し、マーシャル安定度は低下した。一方、フロー値および残留安定度には明確な傾向が認められなかった。
- ・廃白土燃焼灰および CS を配合した混合物の OAC は石粉の場合よりも多かった。ただし、比表面積と OAC の間には、全フィラー材料に共通する統一的な関係性は認められなかった。
- ・FDT によるフィラービチューメンの評価では、フィラーの混合割合の増加に伴って全体的に荷重も増加した。また、廃白土燃焼灰および CS は、他の 4 種類のフィラーよりも最大荷重は大きいですが、荷重がほぼゼロとなる変位量は小さかった。
- ・廃白土燃焼灰および CS を配合した混合物のマーシャル安定度は石粉の場合よりも高かった。一方、CS の水浸後の安定度は低く、そのため残留安定度は最も低い結果であった。
- ・以上より、フィラーの評価には、量および種類の違いを踏まえ、配合設計、フィラービチューメンの引張特性および水浸前後の混合物物性を併せて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：舗装施工便覧（平成 18 年度版），pp.17-38，2006.
- 2) 山下貴弘ら：石炭灰のアスファルト混合物材料への適用性，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.74，No.3，pp.I_79-I_84，2018.
- 3) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（平成 31 年版）〔第 2・第 3 分冊〕，2019.