

## 石炭灰配合アスファルト混合物の材料特性及び周辺環境に及ぼす影響に関する検討

福岡大学大学院 学生会員 ○山下 貴弘  
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣  
 前田道路株式会社 正会員 市岡 孝夫 五十嵐 潤  
 前田建設工業株式会社 正会員 前田 啓太  
 株式会社 Fe 石灰技術研究所 正会員 井 真宏

1.はじめに 東日本大震災後、原子力発電の必要性が見直され、これに代わる発電方法として石炭火力発電の利用が増加している。石炭火力発電により副次的に発生する石炭灰（略記：FA）は年間約1,200万トン発生しており、年々増加傾向にある。FAは約98%が有効利用されているが、その7割をセメント分野に依存している現状にあり、今後、セメント需要の低下が懸念される中で、大量に有効利用が可能な土木分野における有効利用法の開発が求められる<sup>1)</sup>。そこで、年間約7,000万トンの需要があり恒久的な新規建設が期待できるアスファルト舗装分野に着目し、アスファルト混合物フィラー材としての利用について研究を行った。本報告では、FAをアスファルト混合物フィラー材として使用した際におけるアスファルト混合物の材料特性に及ぼす影響の把握とFAによる重金属が周辺環境に及ぼす影響について実験的な検討を行った結果について報告する。

### 2. 実験概要

2-1 実験材料 混合物として密粒度アスファルト混合物（13mm Top）を用い、バインダにストレートアスファルト 60/80 を使用した。骨材には、6号砕石、7号砕石、粗砂、フィラー（石粉・FA）を用いた。表-1 に使用骨材の配合割合を示し、表-2 にフィラー材として使用した石粉及びFAの物理特性とフィラー材としての規格値を示す。また、本検討に用いたFAはJIS規格Ⅱ種相当品である。

表-1 骨材配合率

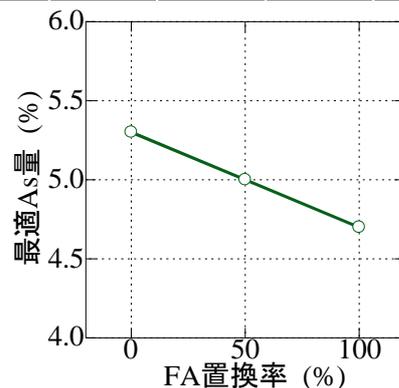
骨材	配合率 (%)
6号砕石	37.5
7号砕石	20.0
粗砂	36.0
フィラー	6.5
計	100.0

2-2 実験方法 FAをフィラー材として使用した場合の材料特性に及ぼす影響は、舗装調査・試験法便覧より標準マーシャル試験（略記：標準MT）、水浸マーシャル試験（略記：水浸MT）により混合物の安定性、耐水性について検討し、ホイールトラッキング試験（略記：標準WT）により耐流動性について検討した。各MTには、直径100mm、高さ63.5±1.3mmの円筒供試体を用い、試験直前には60℃の恒温水槽にて、標準MTの場合30分、水浸MTの場合48時間の水浸養生をした。標準WTには、長さ300mm、幅300mm、高さ50mmの供試体を用いた。また、周辺環境に及ぼす影響については、JIS K0102 65.2 に定めるタンクリーチング試験（略記：TL試験）、利用有姿試験を用いた道路用スラグに関する溶出試験 JIS K0058-1（略記：SL試験）を用いて溶出試験を行った。TL試験は、MTに使用した供試体を400g程度に塊状で破碎し、SL試験は、MTに使用した供試体を破碎機にて粉々に破碎し、両試験とも液固比10:1にて水浸させ、TL試験は密閉後20℃の恒温室にて28日間の水浸養生を行い、SL試験は攪拌機にて6時間攪拌を行う。その後、両試験とも吸引濾過後に溶出挙動の把握を行った。

表-2 フィラー材の物理特性

試験項目	材料	石粉	FA	規格値
水分 (%)		0.3	0.2	1%以下
塑性指数 Ip		5.3	NP	4以下
フロー試験 (%)		30.6	37.9	50以下
吸水膨張 (%)		0.7	1.2	3以下
剥離試験		NP	NP	1/4以下
密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.663	2.273	-
加熱変質性試験		NP	NP	-

また、周辺環境に及ぼす影響については、JIS K0102 65.2 に定めるタンクリーチング試験（略記：TL試験）、利用有姿試験を用いた道路用スラグに関する溶出試験 JIS K0058-1（略記：SL試験）を用いて溶出試験を行った。TL試験は、MTに使用した供試体を400g程度に塊状で破碎し、SL試験は、MTに使用した供試体を破碎機にて粉々に破碎し、両試験とも液固比10:1にて水浸させ、TL試験は密閉後20℃の恒温室にて28日間の水浸養生を行い、SL試験は攪拌機にて6時間攪拌を行う。その後、両試験とも吸引濾過後に溶出挙動の把握を行った。



2-3 実験条件 石粉とFAでは密度が異なるため、最適アスファルト量の変化が考えられる。そこで、標準MTにより各FA置換率における最適アスファルト量を算出した。

図-1 に各FA置換率における最適アスファルト量を示す。FA置換率増加に伴い最適アスファルト量は減少する傾向を示した。表-3 に実験条件を示す。今回の検討では、フィラー中に対するFA置換率は0, 50, 100%の3条件として実験を行った。添加アスファルト量は、各FA置換率における最適アスファルト量とした。

図-1 各FA置換率における最適As量

表-3 実験条件

使用混合物	使用バインダ	フィラー中のFA置換率 (%)	As量 (%)	試験項目
密粒度As混合物 (13mm Top)	StAs 60/80	0	5.3	標準MT, 水浸MT 標準WT TL試験, SL試験
		50	5.0	
		100	4.7	

キーワード 石炭灰, アスファルト混合物, フィラー代替材, 重金属溶出

連絡先 〒814-018 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学 TEL 092-865-6031 (内線 6464)

3. 実験結果及び考察

3-1 安定性の検討 図-2にFA置換率と密度の関係を、図-3にFA置換率と安定度の関係を示す。いずれの配合においても、密度は2.44g/cm<sup>3</sup>付近に位置しており、FA置換率の増加に伴い、僅かな低下傾向がみられた。また、安定度においては、FA置換率に伴う影響はみられず、規定値の4.9kN以上を大きく上回る結果を示した。これより、石炭灰を用いた場合従来のアスファルト混合物と同等の安定度を有し、さらに最適アスファルト量を削減可能(図-1)であり、且つ安定した圧縮強度を有することが示された。

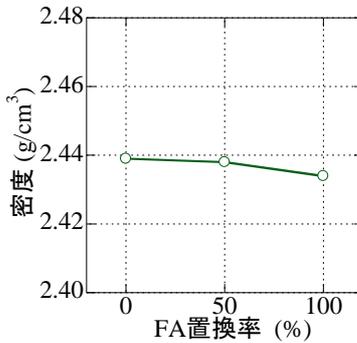


図-2 FA置換率と密度の関係

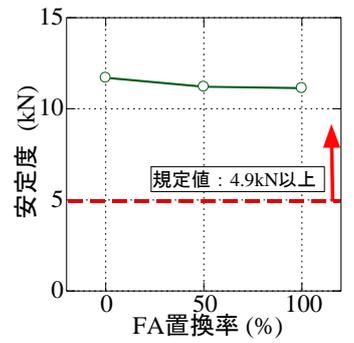


図-3 FA置換率と安定度の関係

3-2 耐水性の検討 図-4にFA置換率と残留安定度の関係を示す。残留安定度は、標準安定度に対する水浸安定度の割合である。FA置換率増加に伴い、残留安定度は約5%程度低下している。これは、図-2に示す微小な密度低下が残留安定度の低下をもたらしたと考えられる。しかし、規定値の75%以上を大きく上回り、FA置換率100%時においても残留安定度は90%以上の値を示した。これより、FA置換率増加に伴い残留安定度は低下傾向を示すものの、十分な耐水性を有していることが示された。

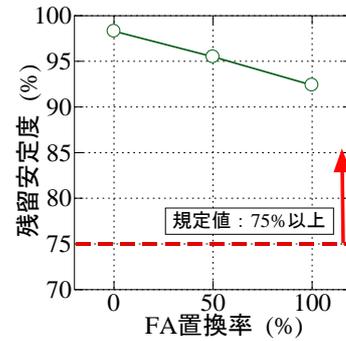


図-4 FA置換率と残留安定度の関係

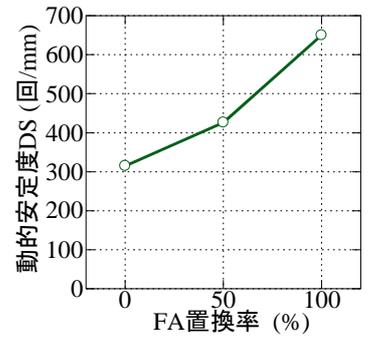


図-5 FA置換率とDSの関係

3-3 耐流動性の検討 図-5にFA置換率と標準WTより算出した動的安定度(DS)の関係を示す。動的安定度は、試験開始45分時と60分時のわだち掘れ量を用い算出する値であり、図-6に動的安定度算出式を示す。FA置換率増加に伴い、動的安定度は増加傾向を示し、わだち抵抗性の高い混合物であることがわかる。これは、FA置換率増加に伴う最適アスファルト量の減少により、混合物に占める骨材比率が大きくなるため、流動抵抗性が向上したためであると考えられる。また、FAの特徴であるボールベアリング効果<sup>2)</sup>により、アスファルトバインダによる被膜が骨材に均等に付着したためであると考えられる。

$$DS = 42 \times \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times c_1 \times c_2$$

DS: 動的安定度(回/mm)  
 d<sub>1</sub>: t<sub>1</sub>(45分)における変形量(mm)  
 d<sub>2</sub>: t<sub>2</sub>(60分)における変形量(mm)  
 c<sub>1</sub>: 変速駆動型試験機を用いた場合の補正係数=1.0  
 c<sub>2</sub>: 室内作製供試体を使用した場合の補正係数=1.0

図-6 動的安定度算出式

3-4 環境安全性の検討 表-4にタンクリーチング試験(TL)により得られた溶出試験結果を示し、表-5に道路用スラグに関する溶出試験(SL)より得られた溶出試験結果を示す。両試験とも、全ての分析対象において、基準値を満足する結果となった。FAは粉体時に重金属等の有害物質を含有するが、アスファルト混合物へ混合することにより、重金属類は溶出されないことが示された。また、道路用スラグに関する溶出試験から、混合物を粉体に破碎しても重金属等は溶出されなかった。これは、アスファルトバインダによる十分な被膜により、重金属類の溶出が防止されたと考えられる。

表-4 タンクリーチング試験結果

分析対象	FA置換率 (%)			粉体時 (mg/L)	土壌環境基準 (mg/L)
	0	50	100		
ホウ素及びその化合物	N.D.	N.D.	0.02	0.51	1.0 以下
フッ素及びその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.3	0.8 以下
六価クロム	N.D.	N.D.	N.D.	0.25	0.05 以下
カドミウム又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.001 未満	0.001 以下
鉛又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.005 未満	0.01 以下
セレン	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.01 以下
ヒ素又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.003	0.01 以下
総水銀	N.D.	N.D.	N.D.	0.0005 未満	0.0005 以下

表-5 道路用スラグに関する溶出試験結果

分析対象	FA置換率 (%)			粉体時 (mg/L)	環境安全品質基準 (mg/L)
	0	50	100		
ホウ素又はその化合物	N.D.	0.03	0.07	0.51	1.0 以下
フッ素又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.3	0.8 以下
六価クロム	N.D.	N.D.	N.D.	0.25	0.05 以下
カドミウム又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.001 未満	0.01 以下
鉛又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.005 未満	0.01 以下
セレン	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.01 以下
ヒ素又はその化合物	N.D.	N.D.	N.D.	0.003	0.01 以下
総水銀	N.D.	N.D.	N.D.	0.0005 未満	0.0005 以下

4. 実験結果及び考察 1)FAを置換することでボールベアリング効果により、最適アスファルト量を削減することができ、十分な安定性を確保できる。2)FAは、粉体時に重金属等を含有するが、フィラー材としてアスファルト混合物へ投入することで、重金属等溶出は無く、周辺地盤環境への影響は無いと考えられる。

【参考文献】 1) 社団法人土木学会エネルギー土木委員会：石炭灰有効利用技術についての報告書, pp28-45, 2003. 2) 柴田敏計：石炭灰のアスファルト混合物フィラー材への適用検討, 技術開発ニュース No.131, pp.21-22, 2008.