

石炭灰のアスファルト混合物フィラー代替材としての有効利用の検討

福岡大学工学部	学生会員	山下 貴弘	西 将太郎
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	

1.はじめに 2011年に発生した東日本大震災の影響により原子力発電の稼働が停止し、今後は石炭の燃焼による石炭火力発電が日本の発電の中心になると考えられる。石炭火力発電に伴い副次的に発生する石炭灰（以下：FA）の有効利用は今後の課題となる¹⁾。FAは年間約1200万トン発生しており、98%が有効利用されているが、約7割はセメント分野に依存していることが現状として挙げられる²⁾。しかし、今後新規建設工事減少から、セメント用材料としての需要は減少すると考えられ、FAの大量消費が期待される土木分野での有効利用が求められる²⁾。本研究では、恒久的な利用が期待され、年間約7000万トンの需要があるアスファルト混合物のフィラー材としての有効利用について検討を行った。一般的に、フィラー材には石灰石より生成される石灰石粉（以下：石粉）が用いられる。本研究では、フィラー材代替材としての適用性について、アスファルト混合物の材料特性から評価を行った。さらに、FAは重金属類を含有するため、アスファルト混合物へ混合した際の環境安全性について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験材料 混合物には密粒度アスファルト混合物（13mm Top）を用い、バインダとして StAs 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、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、本検討で用いたFAはJIS規格のⅡ種に該当する。

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 試験方法 FAのフィラー材としての適用による材料特性への影響については、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）を用いて耐流動性について検討した。また環境安全性については、JIS K0102 65.2 に定めるタンクリーチング試験（略記：TL試験）を用いて溶出試験を行った。MT

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		2.663	2.273	-
加熱変質性試験		NP	NP	-

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℃の恒温水槽中にて、標準試験の場合30分間、水浸試験の場合48時間の水浸養生した。標準WTには、長さ300mm、幅300mm、厚さ50mmの供試体を用いた。TL試験にはMTに使用した供試体を400g程度に破碎し、液固比10:1にて水浸養生し、20℃の恒温室にて28日間静置した。その後、採水し濾過後に溶出試験を実施した。また、表-2よりFAは石粉と物理性状が異なるため、FAを置換することで最適アスファルト量に変化することが考えられる。そこで事前に、標準MTにより各FA置換率の最適アスファルト量を算出した。図-1に各FA置換率の最適アスファルト量を示す。FA置換率の増加に伴い最適アスファルト量は減少し、フィラー材の全量をFAにより置換した場合、最適アスファルト量は0.6%減少することがわかった。

2-3 実験条件 表-3に実験条件を示す。検討に用いる混合物には、密粒度アスファルト混合物（13mm Top）を使用し、フィラー材中の石粉に対するFA

置換率を0%、50%、100%の3条件とした。混合物を作製するに際しての添加アスファルト量は、図-1に示すFA置換率毎の最適アスファルト量とし、検討試験として標準MT、水浸MT、標準WT、TL試験を実施した。

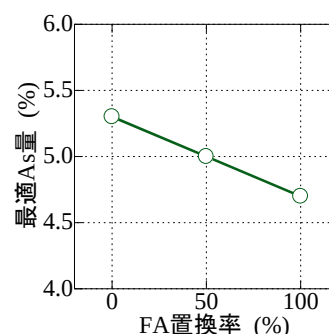


図-1 FA置換率毎の最適As量

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 (%)	添加As量 (%)	検討試験
密粒度As混合物 (13mm Top)	StAs 60/80	0	5.3	標準MT
		50	5.0	水浸MT
		100	4.7	標準WT TL試験

3. 実験結果及び考察

3-1 安定性の検討 図-2に各FA置換率と密度の関係を、図-3に各FA置換率と安定度の関係を示す。いずれの配合条件においても、密度は約2.44g/cm³付近に位置し、密度への影響は僅かな低下傾向がみられる。また、安定度においては、FA置換率の違いによる大きな影響はみられず、規定値の4.9kNを大きく上回る結果を示した。これより、従来のアスファルト混合物の安定度を有し、さらに図-1に示すように最適アスファルト量の低下傾向から、アスファルト量を削減可能であり、且つ安定した圧縮強度を有することが示された。

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%程度減少している。これは、図-2に示すFA置換率と密度の関係より、微小の供試体密度の低下が水浸による原因と考えられる。しかし、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、規定値の75%以上を満足している。これより、FA置換に伴い残留安定度は低下傾向を示すが、十分な耐水性を有していることが分かる。

3-3 耐流動性の検討 図-5に標準WTより算出した動的安定度(DS)を示す。動的安定度とは、試験開始後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DSが増加していることから、わだち掘れに対する抵抗性が高いことがわかる。これは、FA置換率の増加に伴う最適アスファルト量の減少により、少ないアスファルト量で混合物を作製しているため、FA=0%時に比べ混合物に占める骨材の比率が大きくなったことで、流動抵抗性が向上したと考えられる。また、FAの特徴であるボールベアリング効果³⁾により、アスファルトバインダによる骨材の被膜が均等に付着したためであると考えられる。

3-4 溶出特性の検討 表-4にTL試験より得られた溶出試験の結果を示す。全ての分析対象において、土壤環境基準を満足する結果となった。FAは粉体時において、重金属等の有害物質を含むが、フィラー材としてアスファルト混合物へ投入した際は

溶出しないことが知見として得られた。これは、フィラー材としてアスファルト混合物へ投入した際に、アスファルトバインダによって完全に被覆されることで、重金属の溶出が抑制されたことが理由と考えられる。

4. まとめ 1)FAを置換することでボールベアリング効果により混合物作製に必要なアスファルト量を減らすことが可能となり、十分な安定性を確保することが可能である。2)FAは、有姿の状態では重金属を含有するが、フィラー材として使用した際は、アスファルトの被覆により、重金属の溶出による周辺環境への影響は無いと考えられる。3)今回用いたFA(JISⅡ種灰)によりフィラー材を置換し作製した混合物は、材料特性や溶出特性に問題なく実用化の展望が期待される。

【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, pp.28-45, 2003. 2) 一般社団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書(平成26年度実績), pp.5-10, 2015. 3) 柴田敏計：石炭灰のアスファルト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.

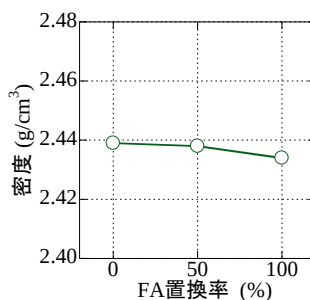


図-2 FA置換率と密度の関係

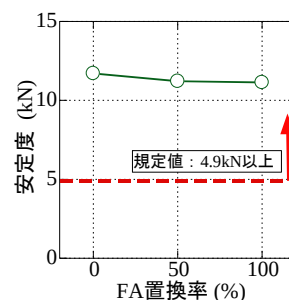


図-3 FA置換率と安定度の関係

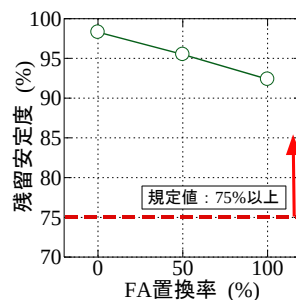


図-4 FA置換率と残留安定度の関係

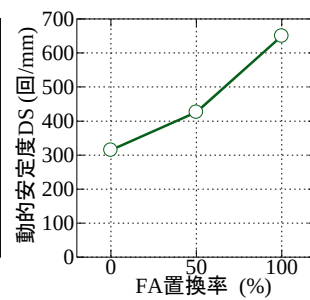


図-5 FA置換率と動的安定度の関係

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

DS: 動的安定度(回/mm)
 d_1 : t_1 (45分)における変形量(mm)
 d_2 : t_2 (60分)における変形量(mm)
 c_1 : 変速駆動型試験機を用いた場合の補正係数=1.0
 c_2 : 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

表-4 溶出試験結果

分析対象	対象試料	FA置換率 (%)			粉体時 (mg/L)	土壤環境基準 (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