

石炭灰使用アスファルト混合物の水浸安定性に関する検討

Examination of the Water Proof of the Asphalt Mixtures using Coal-Ash

北海道電力(株) ○正員 村田 浩一 (Koichi Murata)
 北海道電力(株) 正員 横辻 宰 (Osamu Yokotsuji)
 北海道工業大学 正員 亀山 修一 (Shuichi Kameyama)
 北海道工業大学 正員 笠原 篤 (Atsushi Kasahara)

1. はじめに

北海道電力(株)における石炭灰発生量は、近年 60 万 t 程度で推移しており、平成 13 年度実績では 66 万 t となっている。有効利用率は年々増加し、平成 13 年度には 90%に達しているが、なお 6 万 t の石炭灰が有効利用されずに産業廃棄物として埋立処分されており、環境負荷低減の観点から更なる有効利用促進が必要とされている。しかしながら、有効利用の大半を占める埋戻材への利用、セメント原料への利用に関しては今後大きな利用拡大が望めないことから新たな有効利用技術の開発が急務となっている。

新たなフライアッシュ有効利用技術の一つとして、道路用アスファルト混合物フィラーへの利用が期待されている。これは一般的にフィラーとして使用されている石灰石粉（以下、石粉という）とフライアッシュの粒度分布が類似しており、かつ北海道におけるフィラーの需要が年間 30 万 t 程度あることからフライアッシュの大量利用が期待できるためである。また、石粉が製造に相当の労力を要する有限鉱物であり、1 万円/t 程度と比較的高価な材料であることから、産業副産物であるフライアッシュの有効利用は環境保全・経済性の観点からも期待が大きい。

フライアッシュのフィラーへの利用に関しては、欧米

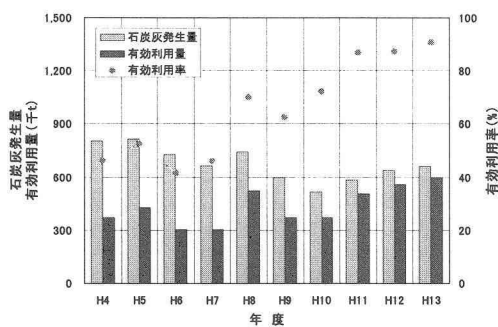


図-1 有効利用実績

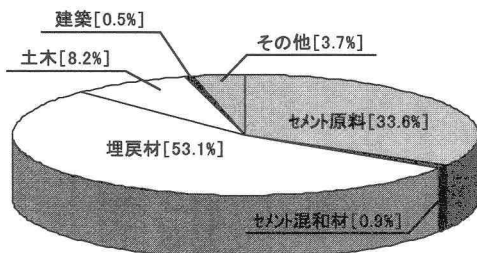


図-2 有効利用の内訳 (平成 13 年度)

では 1930 年代より実用化されており、現在まで特段の不都合は報告されていない。我が国においても過去に多くの適用研究^{1),2)}が実施されており、フライアッシュの使用は特に問題とはならないとの結論が得られている。しかしながら、これらの研究は、品質の安定した国内炭フライアッシュを対象としたものがほとんどであり、石炭火力燃料として品質変動の大きな海外炭を使用している現状では、フライアッシュの品質変動による配合への影響など未解明な部分も多く、本格的な利用には至っていない。

このような背景から、著者らは海外炭フライアッシュの道路用アスファルト混合物フィラーへの適用を目的とした種々の研究^{3),4)}を実施しており、フライアッシュの使用は十分可能であるとの結論を得ている。本報は、フライアッシュおよびフライアッシュと同様に石炭火力発電所から発生するクリンカアッシュのフィラーへの適用性評価を目的として、水浸安定性に着目し検討した結果をまとめたものである。

2. 検討概要

本研究においては、フライアッシュおよびクリンカアッシュのフィラーへの適用性評価にあたって、交通荷重や気象作用の影響を直接受ける表層を対象とした。骨材粒度やアスファルト量の設定にあたっては、北海道において表層用混合物として使用実績の多い密粒度アスファルト混合物 13F を参考とし、水浸によるわだち掘れ抵抗性や低温ひび割れ抵抗性への影響について検討した。

3. 配合設計

(1) 使用材料

本研究で使用した材料を表-1 に示す。バインダーには、積雪寒冷地において使用実績の多い針入度 80~100 のストレートアスファルトを使用した。骨材には虻田郡京極町産の 6~7 号砕石および砕砂、岩内郡共和町産の細目砂（海砂）を使用し、フィラーには石粉のほか北海

表-1 使用材料一覧

種別	材料名	備考
バインダー	St.As.80-100	
骨材	6号砕石	磯谷郡蘭越町産
	7号砕石	〃
	砕砂	〃
	細目砂	岩内郡岩内町産
フィラー	石粉	上磯郡上磯町産
	フライアッシュ	苫東厚真発電所 2号機
	クリンカアッシュ	苫東厚真発電所 4号機

道電力(株)苫東厚真発電所2号機から発生したフライアッシュおよび同発電所4号機から発生したクリンカアッシュを使用した。表-2に本研究に使用したフィラーの物理性状を、写真-1に電子顕微鏡写真を示す。

2種類の石炭灰のうち、フライアッシュとは石炭の燃焼によりボイラ内に発生する灰粒子のうち電気集塵機により集められる球形の微細粒子であり、クリンカアッシュは灰粒子が相互に凝集しボイラ底部に落下したものを破砕機で粉砕・粒度調整した多孔質材料である。なお、従来のクリンカアッシュは細礫や粗砂に近い粒度分布であったが、苫東厚真発電所4号機においてはクリンカアッシュの処理に乾式処理方法を採用したことから、機械構造的により細かいクリンカアッシュが排出されるようになったため、本研究においてフィラーとしての適用性について検討することとした。

表-2 フィラーの物理性状

物理性状		規格値	石粉	FA	CA
比重 (g/cm ³)		—	2.70	2.17	2.34
充填率 (%)		—	60.4	63.8	58.8
比表面積 (cm ² /g)		—	4,970	3,350	1,200
粒度 (%)	600 μm	100	100	100	100
	150 μm	90~100	94	98	79
	75 μm	70~100	85	93	39
P	I	4以下	NP	NP	NP
フロー (%)		50以下	21.8	23.5	44.6
吸水膨張率 (%)		3以下	1.3	2.1	2.5
はく離		1/4以下	OK	OK	OK

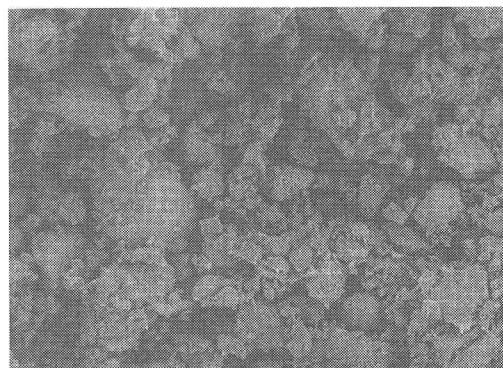
(2) 配合試験

密粒度アスファルト混合物13Fにおいては、フィラーアスファルト比(以下、F/Aという)を1.70として配合設計するのが一般的であるが、フライアッシュの使用にあたっては石粉と比重が大きく異なることからF/Aをそのまま適用することは困難である。このため本研究においては、フライアッシュの使用にあたって、バインダーの中温域におけるレオロジー特性を評価可能なDSR試験をフィラービチューメンに適用し、北海道における夏季の路面温度を想定した60℃においてF/A=1.70の石粉ビチューメンと同等のG*/sin δ (G*:複素弾性率, δ:位相角)が得られたF/A=1.35を用いることとした^{3),4)}。

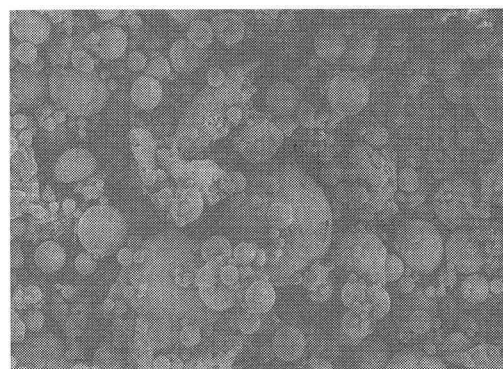
クリンカアッシュの使用にあたっては、粒度分布が規格値を満足しないことから、75 μm以下の細粒分に関してはフィラー代替品、75 μm以上の粒子については砂の代替品として扱うこととし、F/Aによる規定は行わず骨材全体の粒度分布が密粒度アスファルト混合物13Fの粒度範囲に入るようにクリンカアッシュの配合量を決定

表-3 アスファルト混合物の材料構成比

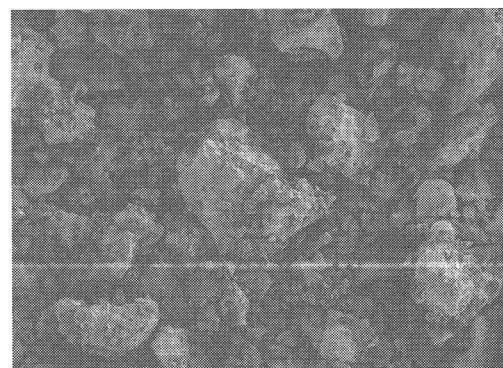
混合物種類		構成比 (%)			F/A
		アスファルト	骨材	フィラー	
石粉使用	重量比	6.0	83.8	10.2	1.70
	容積比	14.5	76.1	9.4	0.65
FA使用	重量比	6.0	85.9	8.1	1.35
	容積比	14.1	76.9	9.0	0.64
CA使用	重量比	6.0	81.4	12.6	2.10
	容積比	14.4	72.4	13.2	0.92



石粉



フライアッシュ



クリンカアッシュ

写真-1 フィラーの電子顕微鏡写真

することとした。

なお、フライアッシュおよびクリンカアッシュは、石粉を含むその他の骨材と比重が大きく異なることから、粒度調整にあたっては重量率ではなく容積率を用いて検討を進めた。表-3に配合試験を実施した各フィラー使

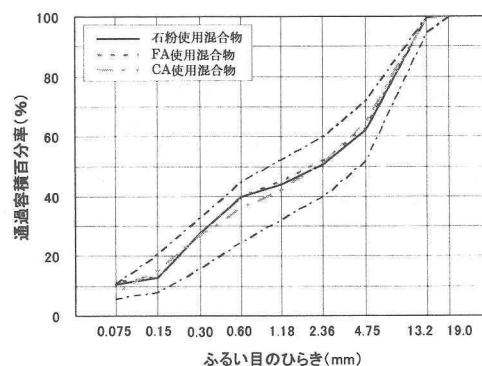


図-3 骨材粒度分布

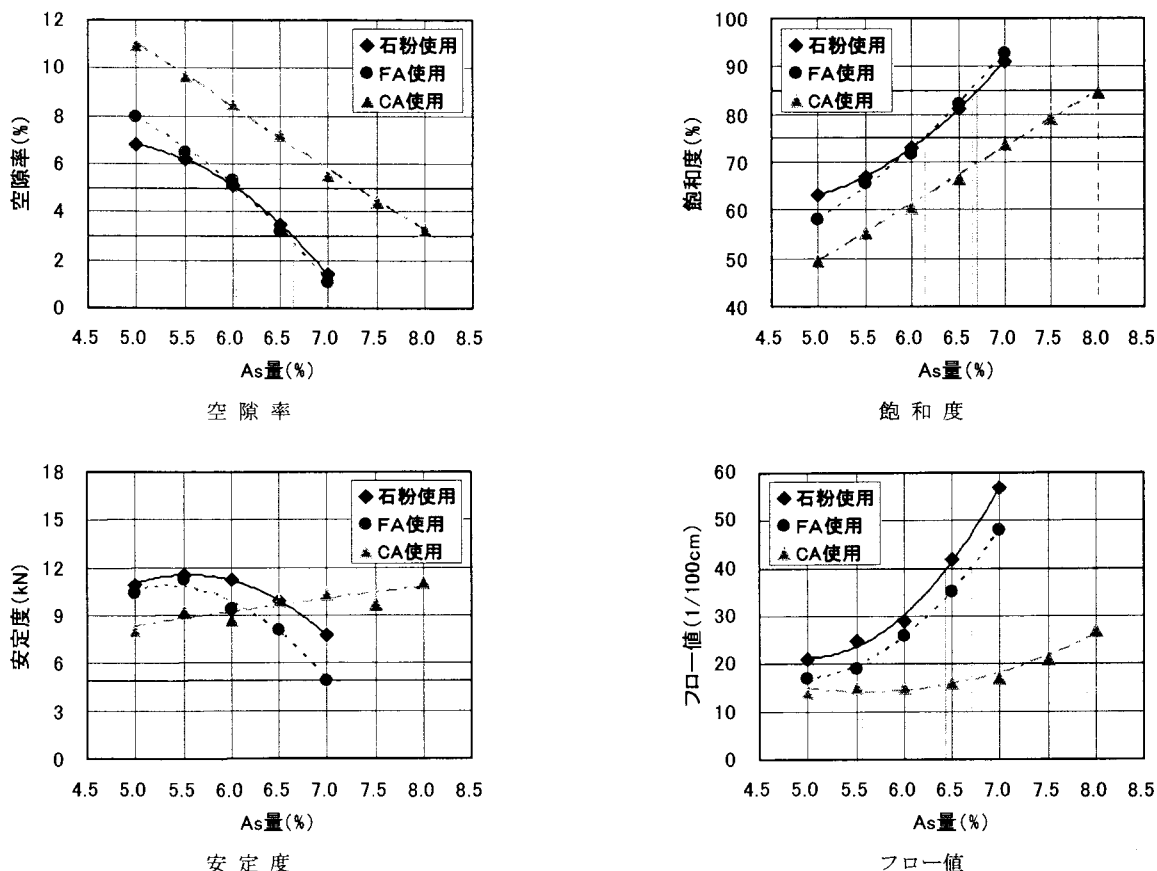


図-4 配合試験結果

用アスファルト混合物の材料構成比を、図-3 に骨材の通過容積百分率を示す。

配合試験の結果を図-4 に、密粒度アスファルト混合物 13F の各基準値を満足するアスファルト量を表-4 に示す。石粉使用アスファルト混合物（以下、石粉使用混合物という）およびフライアッシュ使用アスファルト混合物（以下、フライアッシュ使用混合物という）に関しては、それぞれ最適アスファルト量が 6.29%、6.35%と同程度の結果であったが、クリンカアッシュ使用アスファルト混合物（以下、クリンカアッシュ使用混合物という）に関しては最適アスファルト量が 7.65%と非常に大きくなった。これはクリンカアッシュの孔隙構造にアスファルトが吸われてしまい、アスファルト量の増加に伴う空隙率の減少・飽和度の増加が進まなかったためと考えられるが、11kN 程度と石粉使用混合物およびフライアッシュ使用混合物と大差ない安定度を有していることから、アスファルトを多く入れることが望まれる分野への適用が期待される。

表-4 基準値を満足する As 量の範囲

		アスファルト量 (%)				最適
		空隙率	飽和度	安定度	フロー値	
石粉	上限値	6.63	6.70	—	6.44	6.29
	下限値	6.04	6.14	—	—	
FA	上限値	6.56	6.65	—	6.71	6.35
	下限値	6.03	6.14	—	5.56	
CA	上限値	—	8.00	—	—	7.65
	下限値	7.29	7.17	—	7.28	

4. 水浸安定性に関する検討

本研究においては、フィラー種別によるアスファルト混合物の水浸安定性への影響を評価する目的で、水浸マーシャル安定度試験の水浸条件に倣い 60°C の高温水中で 48 時間水浸劣化させた供試体（以下、水浸供試体という）および劣化させない供試体（以下、標準供試体という）を用いて、マーシャル安定度試験、ホイールトラック試験および間接引張試験を実施した。なお、これらの検討は前項で求めた最適アスファルトで行った。

(1) マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験および水浸マーシャル安定度試験の結果を図-5 に示す。

標準供試体から得られた安定度は、アスファルト量が 7.7% と非常に多いにも係らずクリンカアッシュ使用混合物が 10.6kN と最も大きく、次いで石粉使用混合物、

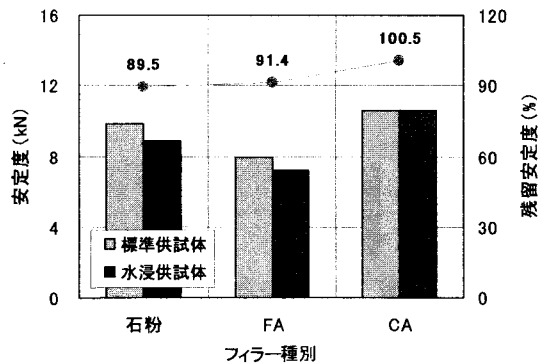


図-5 水浸による安定度への影響

フライアッシュ使用混合物の順であったが、3種類とも基準値である4.91kNを十分満足する結果となった。

残留安定度に関して、石粉使用混合物およびフライアッシュ使用混合物は共に90%程度であり同等の水浸安定性を有しているものと判断される。一方、クリンカアッシュ使用混合物においては残留度が100%程度となり水浸による劣化が認められなかった。これはクリンカアッシュ使用混合物のアスファルト量が多いことに起因していると考えられるが、施工に十分耐えうる安定度が得られていることから、土工分野など水浸による劣化が懸念される箇所への適用が期待される。

(2) ホイールトラッキング試験

水浸によるわだち掘れ抵抗性への影響を確認するため、ホイールトラッキング試験を実施した。ホイールトラッキング試験結果を図-6に示す。

標準供試体から得られた動的安定度は、フライアッシュ使用混合物で150回/mm、クリンカアッシュ使用混合物で130回/mmであり、石粉使用混合物の141回/mmと比較しても試験の誤差範囲内に止まる程度の差違しかなく、本試験範囲内においてはフィラー種別によるわだち掘れ抵抗性への明確な影響は確認できなかった。

また、水浸供試体から得られた動的安定度は、標準供試体から得られた動的安定度の95~110%程度であり、変動が試験誤差範囲内に止まったため、水浸によるわだち掘れ抵抗性への影響に関してフィラー種別による有意差は認められなかった。

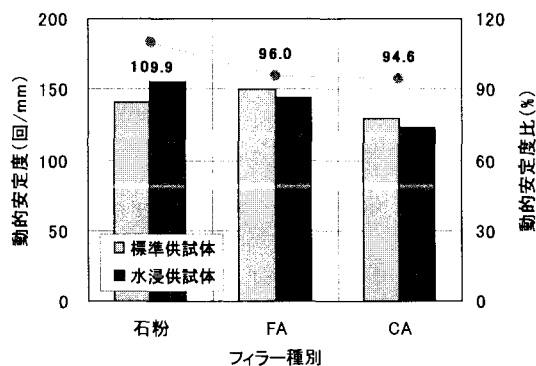


図-6 水浸による動的安定度への影響

(3) 間接引張試験

水浸による低温ひび割れ抵抗性への影響を確認するため、間接引張試験を実施した。なお、間接引張試験は北海道の冬期の路面温度を想定した-20℃で実施することとし、低温ひび割れ抵抗性の評価は間接引張試験のうちクリープ試験により求められる変形係数により行った。

図-7にクリープ試験により求めた変形係数を示す。なお、クリープ試験における載荷荷重は17kNである。標準供試体により求めた変形係数は、クリンカアッシュ使用混合物、フライアッシュ使用混合物、石粉使用混合物の順番に大きくなっている。一般的に変形係数が小さいほど低温ひび割れ抵抗性に優れていると考えられることから、フライアッシュ使用混合物およびクリンカアッシュ使用混合物は、石粉使用混合物以上の低温ひび割れ抵抗性を有しているものと考えられる。

変形係数への水浸の影響に関しては、石粉使用混合物およびフライアッシュ使用混合物の変形係数比が88%

程度なのに対し、クリンカアッシュ使用混合物は94%程度であった。このことから、クリンカアッシュ使用混合物は、石粉使用混合物およびフライアッシュ使用混合物に比べ、水浸の影響が小さいと考えられるため、土工分野などへの適用が期待される。

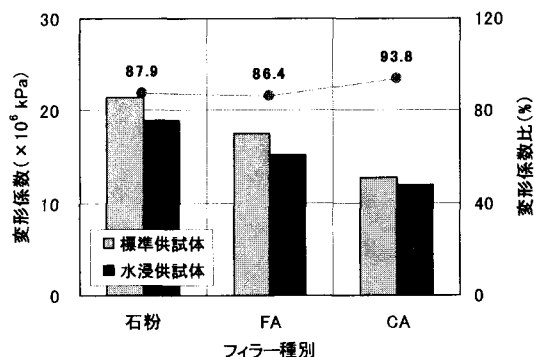


図-7 水浸による変形係数への影響

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に列挙する。

- ・フィラーとしてクリンカアッシュを使用した場合、最適アスファルト量が7.7%と大きくなったが、安定度は11kN程度あり石粉使用混合物およびフライアッシュ使用混合物と同等であった。
- ・石粉およびフライアッシュを使用したアスファルト混合物には水浸安定性の観点から差違は認められなかったが、クリンカアッシュを使用した場合は水浸による影響が小さくなった。

6. おわりに

本報では、石炭灰の道路用アスファルト混合物フィラーへの適用を目的として、フィラー種別による水浸安定性への影響について検討した。その結果、フライアッシュを使用したアスファルト混合物と石粉使用のアスファルト混合物の間には差違が認められなかったが、クリンカアッシュを使用した場合、水浸による影響が小さくなることが明らかとなった。

今後は、石炭灰の品質管理方法に関する検討、供給体制の整備など道路用アスファルト混合物フィラーとしての実用化に向けて取り組んで行くと同時に、クリンカアッシュに関してはその特性を活かし土工分野など特殊な用途への利用について検討を続ける予定である。

[参考文献]

- 1) 安田 稔, 松下 宗司: アス・コンにおけるフライアッシュのフィラー効果, 電力土木 No.191, pp70-81, 1984.
- 2) 海野 優, 黒川 勤: アスファルト混合物フィラーとしての石炭灰の利用, 北陸道路舗装会議技術報告集, Vol.6th, pp341-344, 1994.
- 3) 中井 雅司, 村田 浩一, 亀山 修一, 笠原 篤: フィラービチューメンのレオロジー特性に関する一考察, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, V-40, 2002.9.
- 4) 村田 浩一, 横辻 宰, 岡島 尚司, 笠原 篤: 海外炭フライアッシュの道路用フィラーへの適用性, 土木学会北海道支部論文報告集, 第59号, V-13, pp742-745, 2003.2.