

フライアッシュの反応特性に関する一考察

Study on characteristic Reaction of Fly ash

北海道電力(株)総合研究所 ○正 員 山城洋一 (Youichi Yamashiro)
北電総合設計(株)土木部 正 員 齋藤敏樹 (Toshiki Saito)

1. はじめに

石炭火力発電所で排出されるフライアッシュの多くは土木材料等で有効利用されているが、いまだ全量の利用には至らず、灰捨て地へと処分されているのが現状である。フライアッシュコンクリートは、普通コンクリートと比べ流動性が良く、水和発熱量の低減による温度応力ひび割れの防止やアルカリ骨材反応の抑制効果があり、ポゾラン反応で長期強度が増進することが一般に知られているが、フライアッシュの炭種の違いによる影響やセメント種類を変えたときの反応特性についてはいまだ不明な点が多い。本研究ではフライアッシュの二酸化けい素の量、比表面積が異なるフライアッシュの反応特性を把握することを目的として実施した試験結果について報告する。

2. 実験概要

実験はフライアッシュ置換率の影響、フライアッシュのブレーン比表面積の影響、フライアッシュの二酸化けい素の影響および各種セメントにフライアッシュを置換した影響を把握するケースを設定し、セメントペーストの細孔量試験、強熱減量試験(材齢 182 日まで)およびモルタルの圧縮強度試験(材齢 182 日まで)を実施した。

2.1 使用材料

実験に使用したセメントの種類と品質を表-1 に示す。セメントは反応速度が異なる普通ポルトランドセメント(以下 OPC), 低熱ポルトランドセメント(以下 LPC), 早強ポルトランドセメント(以下 HPC)とした。実験に使用したフライアッシュの種類を表-2 に示す。フライアッシュは、苫東厚真発電所 4 号機から排出される二酸化けい素の含有量が異なる 3 炭種とした。フライアッシュの品質はブレーン比表面積等により JIS 規格で決められているが、反応性を把握するためにそのうちの 1 炭種を分級機で細粉、粗粉に分級して実験で使用した。

表-1 セメントの種類

略号	OPC	LPC	HPC
種類	普通	低熱	早強
密度 (g/cm ³)	3.16	3.24	3.13
比表面積 (cm ² /g)	3,250	3,330	4,650

二酸化けい素(JIS A 6201)の含有量について WA-O は 73.0%, DB-O は 57.3%, BO/DD-O は 50.3%であった。ブレーン比表面積について WA-O は 3,900cm²/g、WA-F は 5,610cm²/g、WA-C は 2,730cm²/g となった。フライアッシュの粒度分布を図-1 に示す。分級した WA-F は 1μm から 10μm 程度までに分布し、WA-C は 100μm までに分布している結果となった。

表-2 フライアッシュの種類

略 号	WA-O	WA-F	WA-C	DB-O	BO/DD-O
種 類	リンボ (原粉)	リンボ (細粉)	リンボ (粗粉)	ダート ブルック	ボンタン /大同
強熱減量 (%)	2.0	1.8	1.9	2.5	3.4
密 度 (g/cm ³)	2.11	2.27	2.04	2.19	2.41
比表面積 (cm ² /g)	3,900	5,610	2,730	4,120	4,060
二酸化けい素 (%)	73.0	70.1	71.5	57.3	50.3
API (%)	48.92	69.98	43.60	48.43	48.23
湿 分 (%)	0.02	0.24	0.19	0.08	0.12
フロー値比 (%)	103	111	99	108	106
活性度指数 28 日 (%)	84	86	78	84	82
活性度指数 91 日 (%)	90	100	88	98	92

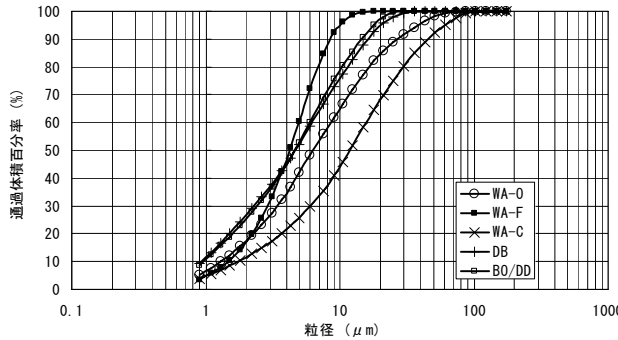


図-1 フライアッシュの粒度分布

2.2 試験方法および配合

(1) ペースト試験

ペーストの配合を表-3 に示す。細孔量測定で使用したペーストの練混ぜはモルタルミキサーを使用し、1 バッチ 1.5 L として練混ぜ、ポリ袋に厚さ 5mm 程度になるように入れ封緘養生した。所定材齢経過後にペーストをダイヤモンドカッターで 5mm 角程

度に切断し、アセトンに24時間浸漬した後、D乾燥し水銀圧入法（ポアサイズ9320）により細孔径6nmまでの細孔量を測定した。

強熱減量試験は細孔量試験と同様の供試体を粉砕機で粉末にして測定した。

フライアッシュの置換率はセメントの容積置換とし、水結合材容積比が一定となるように各配合を設定した。

表-3 ペースト配合

ケース	フライアッシュ 種類	F A置換率 F/(C+F) vol%	セメント 種類	水結合材比 W/(C+F) vol%
1	なし	0	OPC	145
2	なし	0	LPC	145
3	なし	0	HPC	145
4	WA-O	15	OPC	145
5	WA-O	25	OPC	145
6	WA-O	50	OPC	145
7	WA-O	15	LPC	145
8	WA-O	15	HPC	145
9	WA-F	15	OPC	145
10	WA-C	15	OPC	145
11	DB-O	15	OPC	145
12	BO/DD-O	15	OPC	145

(3) モルタル試験

モルタルの配合を表-4に示す。モルタルの練混ぜおよび供試体（□4×4×16cm）の作製はJIS R 5201に準じて行い、所定材齢まで封緘養生した後圧縮強度を測定した。モルタル配合はペースト配合と同様に水結合材容積比を一定とし、砂ペースト容積比が一定になるように設定した。

表-4 モルタル配合

ケース	フライアッシュ 種類	F A置換率 F/(C+F) vol%	セメント 種類	水結合材比 W/(C+F) vol%	砂ペースト比 S/Paste vol
1	なし	0	OPC	145	1.4
2	なし	0	LPC	145	1.4
3	なし	0	HPC	145	1.4
4	WA-O	15	OPC	145	1.4
5	WA-O	25	OPC	145	1.4
6	WA-O	50	OPC	145	1.4
7	WA-O	15	LPC	145	1.4
8	WA-O	15	HPC	145	1.4
9	WA-F	15	OPC	145	1.4
10	WA-C	15	OPC	145	1.4
11	DB-O	15	OPC	145	1.4
12	BO/DD-O	15	OPC	145	1.4

3. 実験結果と考察

(1) 細孔量

細孔量試験結果を図-2に示す。

図-2より、全ケースにおいて、材齢が経過するに従い細孔量は減少する傾向が示された。最も細孔量が多かったケースは28日まではLPCにフライアッシュを置換し

たケース7、91日以降ではフライアッシュを50%置換したケース6であった。LPCを使用したケース2およびケース7とHPCを使用したケース3およびケース8は、OPCを使用したケースより細孔量が多い傾向が示された。

フライアッシュ置換率と細孔量の関係を図-3に示す。置換率が増加するに従い細孔量が増加する傾向が示された。

二酸化けい素と細孔量の関係を図-4に示す。二酸化けい素の含有割合と細孔量の関係は明確に示されなかった。

フライアッシュの比表面積と細孔量の関係を図-5に示す。比表面積と細孔量の関係は明確に示されなかった。

フライアッシュ置換の影響を図-6に示す。各材齢ともフライアッシュで置換することにより無置換より若干多くなる傾向が示された。

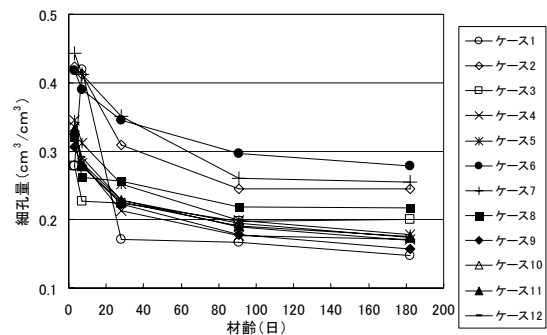


図-2 細孔量試験結果

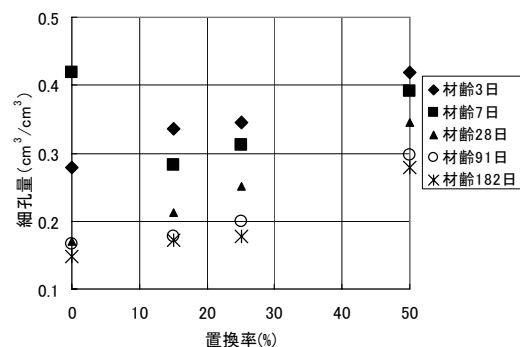


図-3 フライアッシュ置換率と細孔量

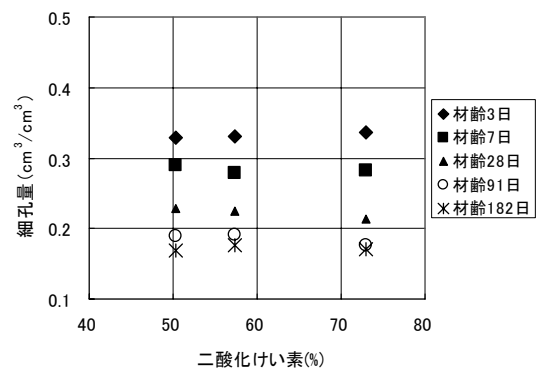


図-4 二酸化けい素と細孔量

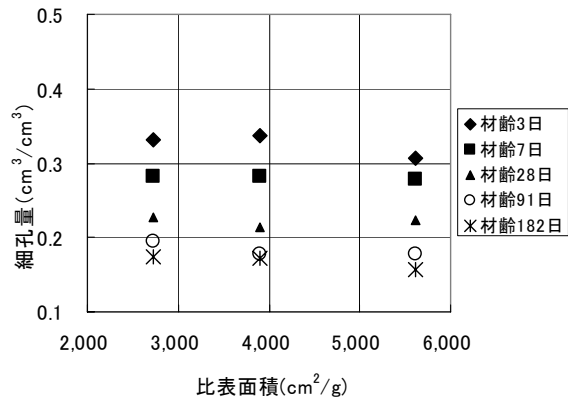


図-5 比表面積と細孔量

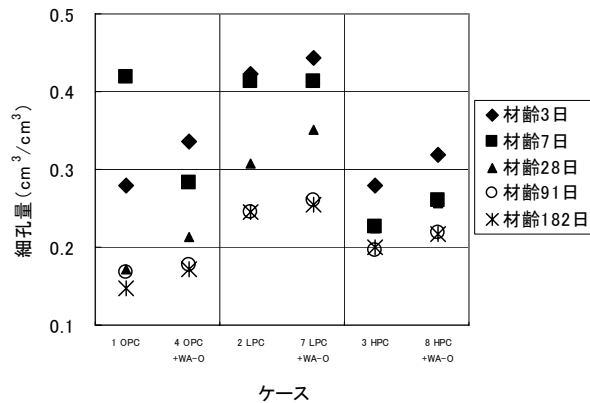


図-6 フライアッシュ置換の影響

(2) 強熱減量

強熱減量試験結果を図-7に示す。

セメント種類による相違(ケース1, 2, 3)は、LPC(ケース2)が最も強熱減量は小さく、次いでOPC(ケース1)、HPC(ケース3)の順となった。

各セメントにフライアッシュを混入した場合の相違(ケース1と4, ケース2と7, ケース3と8)は、LPCでは材齢28日以降において無置換(ケース2)より置換(ケース7)の方が強熱減量の増加が大きく、HPCでは材齢91日まで無置換(ケース3)より置換(ケース8)の方が強熱減量は小さいが、材齢182日では同等となった。

フライアッシュ置換率と強熱減量の関係を図-8に示す。材齢91日までは置換率が高くなるに従い強熱減量は小さくなるが、材齢182日では無置換と同等となり、その伸び率は、フライアッシュ置換率が増加するに従い大きくなる傾向が示された。

フライアッシュの二酸化けい素と強熱減量の関係を図-9に示す。フライアッシュの二酸化けい素と強熱減量の関係は明確に示されなかった。

フライアッシュの比表面積と強熱減量の関係を図-10に示す。フライアッシュの比表面積と強熱減量の関係は明確に示されなかった。

フライアッシュ置換の影響を図-11に示す。フライアッシュを置換したケースは182日で強熱減量の若干の増加がみられるが、フライアッシュ無置換の場合182日で強熱減量の伸びがなく同等であった。

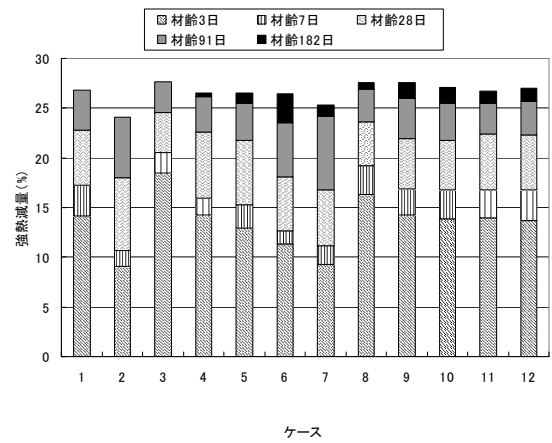


図-7 強熱減量試験結果

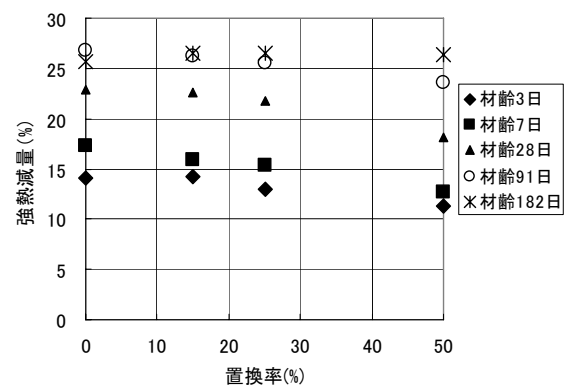


図-8 置換率と強熱減量

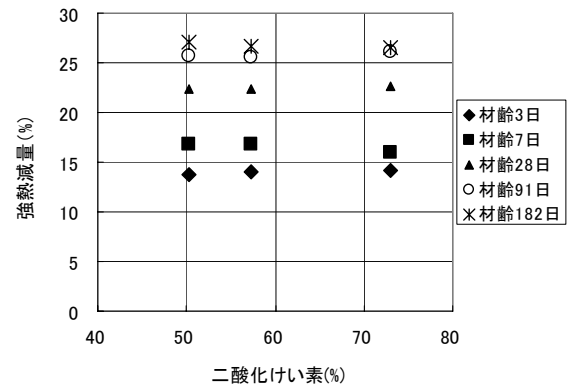


図-9 二酸化けい素と強熱減量の関係

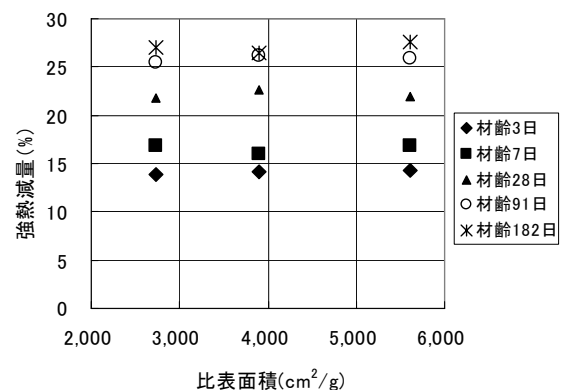


図-10 比表面積と強熱減量

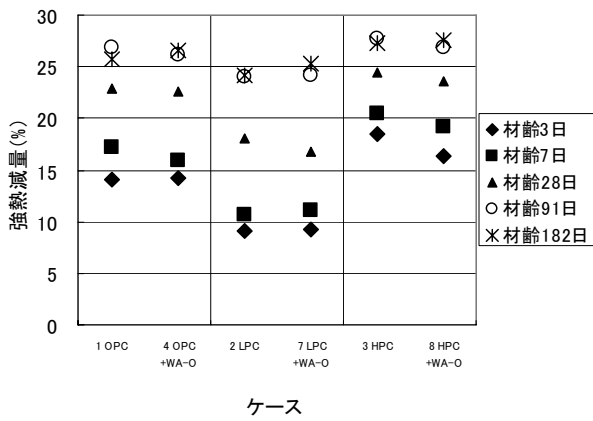


図-11 フライアッシュ置換の影響

(3) 細孔量と強熱減量

細孔量と強熱減量の関係を図-12に示す。細孔量が減少するに従い強熱減量は大きくなる傾向が示され、材齢が経過するに従い水和物の生成により細孔量が減少していることが推察される。

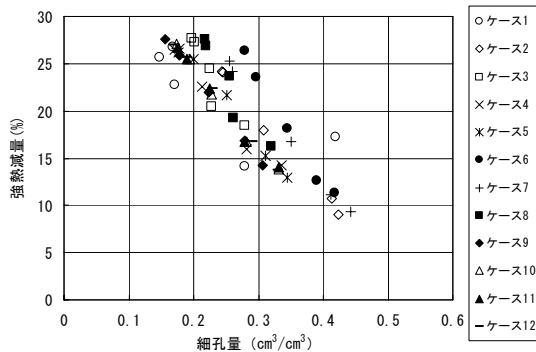


図-12 細孔量と強熱減量

(4) 細孔量および強熱減量と圧縮強度

細孔量と圧縮強度の関係を図-13に、強熱減量と圧縮強度の関係を図-14に示す。

図-13より、細孔量が減少するに従い圧縮強度は高くなる傾向が示され、図-14より、強熱減量が増加するに従い圧縮強度は増加する傾向が示された。強熱減量は水和生成物との相関性が高いと考えられることから、水和生成物の増加に従い、細孔量が減少し圧縮強度を増進させていると推察される。

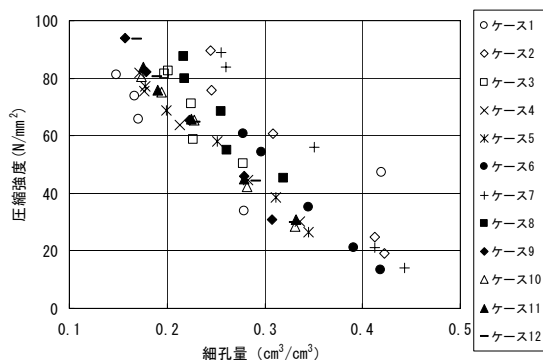


図-13 細孔量と圧縮強度

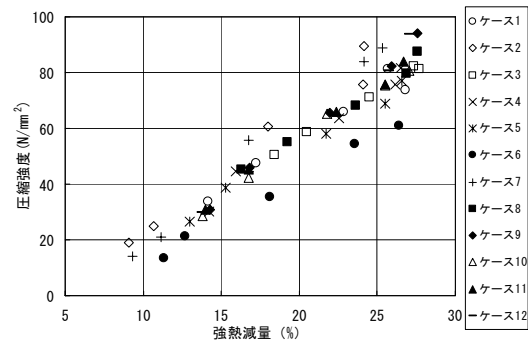


図-14 強熱減量と圧縮強度の関係

4. まとめ

セメントペーストの細孔量試験、強熱減量試験およびモルタルの圧縮強度試験を実施した結果を以下のとおりまとめる。

- LPC、HPCを使用した配合の細孔量は多くなる傾向がみられた。また、LPCを使用した配合の強熱減量はOPCより小さくHPCは材齢3日で大きいとそれ以降の伸びは小さい。
- フライアッシュの二酸化けい素が細孔量、強熱減量および圧縮強度に与える影響は明確に示されなかった。
- フライアッシュの比表面積が細孔量および強熱減量に与える影響は明確に示されなかった。
- フライアッシュを置換したケースは182日で強熱減量の若干の増加がみられたが、フライアッシュ無置換の場合182日で強熱減量の伸びがみられなかった。つまり、91日以降ではセメントの水和は停止しているが、フライアッシュの反応は継続していることが推察された。
- 圧縮強度は、強熱減量および細孔量との相関性が示されたことから、水和物の生成により細孔量が減少し圧縮強度が増進したものと推察された。

今回の試験では二酸化けい素が異なる3炭種を使用し、うち1炭種を分級して試験を行った。その結果、二酸化けい素量が異なるケースでは細孔量、強熱減量、圧縮強度に及ぼす影響はみられなかった。また、フライアッシュの比表面積が異なるケースでは細孔量、強熱減量に与える影響はみられなかった。

5. おわりに

本報告では、ペーストの細孔量試験、強熱減量試験、モルタルで圧縮強度試験を材齢182日までに行い反応特性を評価した。さらに今後は材齢365日まで試験を行い、フライアッシュの長期的な反応特性を把握し、評価する予定である。

【参考文献】

山本武志, 金津 努, フライアッシュのボゾラン反応に関する研究, 電力中央研究所報告, 2004. 10