

フライアッシュの品質変動がコンクリートに及ぼす影響について

中部電力(株) 正会員 山本 晃・渡辺 増美・望月 真
 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 正会員 田中 良仁
 東海コンクリート工業(株) 板井 知明

1. はじめに

石炭火力発電所から発生するフライアッシュ(以下FA)の利用拡大の一方策として、FAを混和材として一般構造用コンクリートに使用することが考えられる。一方でFAをコンクリート混和材に用いることの利点としては流動性の改善、水和熱の低減等の効果があるが、FAの品質変動がコンクリートのフレッシュ性状、強度等に与える影響が懸念されている。そこで、中部電力碧南火力産のFA100 サンプル[分級後のもの50 サンプル(以下細粉) 分級前のもの50 サンプル(以下原粉)]について、FAの品質の相違によるコンクリート特性の変化について検討を行った。なお、碧南火力は全量海外炭を使用している。

2. FAの品質

表1 フライアッシュの品質試験結果 網掛け: JIS規格外

細粉、原粉 共に 各50 サンプル	強熱 減量 (%)	MB吸 着量 (mg/g)	pH	密度 (g/cm ³)	ミカ 比重	ブレン 値 (cm ² /g)	45μm 残分 (%)	活性指数(%)		70- 値比 (%)	P-0- t (秒)	SiO ₂ (%)	
								28日	91日				
JIS規格 種	5.0以 下			1.95 以上		2500 以上	40.0 以下	80.0 以上	90.0 以上	95.0 以上		45.0 以上	
細 粉	平均	1.77	0.32	10.91	2.28	1.36	3,530	15.9	89.0	105.2	107.7	10.0	57.58
	最大	3.40	0.52	12.26	2.39	1.47	3,770	20.1	98.6	116.5	112.3	13.9	69.86
	最小	0.80	0.20	8.95	2.17	1.14	3,300	11.8	80.2	91.3	100.7	9.2	48.99
	標準偏差	0.62	0.07	0.87	0.05	0.07	114.0	2.09	4.32	5.30	2.63	0.8	4.93
原 粉	平均	2.30	0.47	10.90	2.23	1.26	3,528	27.8	87.5	98.9	101.8	18.9	59.39
	最大	3.70	0.79	11.94	2.36	1.43	4,060	50.6	100.1	110.9	109.4	107.0	75.91
	最小	0.90	0.23	3.96	2.08	0.94	2,380	16.0	80.5	89.2	89.1	9.3	46.79
	標準偏差	0.65	0.15	1.66	0.06	0.11	415.2	7.72	5.15	5.23	4.46	21.1	6.80

碧南火力で使用する海外炭は約60種類と多数に及び、多くの場合はそれらを混ぜて燃焼する。また、5日程度で使用炭種が変わる。本研究はできるだけ多くのFAを採取するため、中4日(5日毎)でサンプルを18ヶ月間採取した。サンプルのほとんどは、3号機産出のFAであるが、原粉の一部(19サンプル)は3号機改造工事のため、1,2号機産出のFAである。本研究で用いたFAの品質試験結果を表1に示す。細粉は、全てJISFA種に適合する品質を有していた。原粉についても、1,2号機産出分を除けば、1サンプルを除きJISFA種規格内であった。1,2号機産出FAについては、ブレン値、45μm残分、70-値比で19サンプル中7サンプルがJISFA種規格外であった。なお、1,2号機産出FAの品質が劣る原因としては燃焼室の容積が関係しているとも言われているが定かではない。

3. 試験概要および結果・考察

表2 コンクリート試験の基本配合

表2に各サンプルを使用したコンクリート試験の基本配合を示す。基本配合としてはFA置換率0%の基準配合を基に、FA20%置換(以下FA20)の100サンプル全

配合記号	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水 剤量 (C+F)×%	AE補助 剤量 (cc/m ³)	
				水(W)	砂(C)	F A(F)	細骨材(S)			粗骨材(G)
基準配合	55.6	0	47	178	320	-	829	949	0.2	35
FA20	55.6	20	47	178	256	64	818	936	0.2	160
FA30	55.3	30	47	177	224	96	813	931	0.2	180

て、FA30%置換(以下FA30)の25サンプルについて試験した。試験項目としては、フレッシュ性状および硬化性状の測定を行った。なお、空気量の影響を軽減するため、4.5±0.3%の範囲になるようにAE補助剤量のみ調整を行った。

表3 使用材料

粗骨材	三重県北勢町採石(Gmax20)
細骨材	三重県東員町混合砂(砕砂6:川砂4)
混和剤	T社製「スーパー」EX20, FA10

フレッシュ性状

スランプ: 表4にスランプ試験結果概要を示す。細粉については、1サンプルを除き許容範囲内(スランプが12cmの場合±2.5cm)となった。原粉についても、1,2号機産出分を除けば、細粉と同程度であった。1,2号機産出のFAについては、スランプが小さくなる傾向があった。

表4 スランプ試験結果概要

置換率	細粉(cm)	原粉(cm)
20%	10.4~13.9	6.3~13.6
30%	10.6~15.6	9.4~14.5
JIS規格	SL12cmの場合 9.5~14.5	

(キーワード): フライアッシュ、分級、品質変動、相関、pH

(連絡先): 愛知県名古屋市中区東新町1 中部電力(株)土木建築部計画・技術G TEL052-973-3090

空気量：表 5 に空気量測定結果概要を示す。細粉・原粉共に一部を除き、許容範囲内（空気量が 4.5%の場合 ±1.5%）に収まる結果が得られた。なお、許容範囲を外れたものは FA20 で 4 サンプル、FA30 で 4 サンプルであった。

表 5 空気量測定結果概要

置換率	細粉 (%)	原粉 (%)
20%	3.0~6.3	2.6~5.8
30%	2.4~4.9	2.8~5.2
JIS 規格	4.5%の場合	3.0~6.0

硬化性状：図 1 に FA20 の細粉の場合の圧縮強度を示す。圧縮強度の変動係数は FA20 の場合、28 で 3.8%、91 で 4.0%、FA30 の場合、28 で 4.2%、91 で 5.2%と低い値で安定しており FA の品質変動による影響は認められなかった。

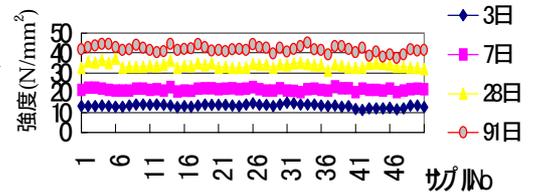


図 1 FA20 の細粉の圧縮強度

相関 (FA20)

スランブ：表 6 に FA の品質指標とコンクリート性状の単相関による相関係数、図 2 にスランブとみつかさ比重の散布図、図 3 にスランブと P-ロート流下時間の散布図を示す。

表 6 FA の品質に対する相関係数 網掛け：相関係数 0.5 以上

	強熱減量	MB 吸着量	pH	密度	ミツかさ比重	ブレン値	45µm 残分	活性度指数 (%)		7-値比	P-ロート (秒)	SiO ₂ (%)
								28日	91日			
スランブ	-0.45	-0.47	0.26	0.45	0.58	0.25	-0.56	-0.02	0.31	0.57	-0.54	-0.33
空気量	-0.68	-0.71	0.05	0.24	0.34	-0.17	-0.14	-0.12	0.30	0.37	-0.28	0.01

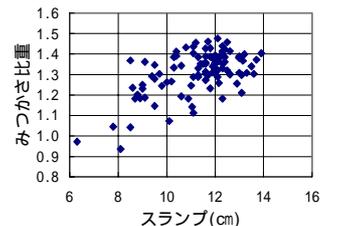


図 2 スランブ - みつかさ比重

スランブに対して 0.5 以上の相関係数を示したのは、みつかさ比重、45µm 残分、7-値比、P-ロート流下時間であった。それに続き、MFL-吸着量、強熱減量も相関がある。特にみつかさ比重と P-ロート流下時間の 2 つは基準化された試験ではないが¹⁾、測定方法が簡易でスランブとの相関性が高いので、流動性を評価する指標として優れていると思われる。

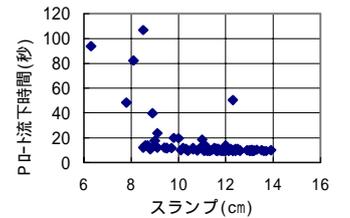


図 3 スランブ - P-ロート

また、図 3 で P-ロート流下時間が 40 秒以上の値が 6 点あり、この 6 点の内 5 点はスランブが小さいと共に、すべてオーストラリア産で pH が酸性を示している。なお、FA の pH が 7 未満になると減水剤の種類によらず減水剤の使用倍率が增大する傾向があるとの報告もなされている。²⁾

次に FA の品質特性とスランブとの重回帰分析を行った。説明変数としては測定した品質特性をすべて使用し、変数増減法により定式化を行った。説明変数がみつかさ比重、45µm 残分、強熱減量の組合せの場合、重相関係数が 0.73 と高い値を示した。また、予測値と観測値の残差分析 (図 4) を行ったところ、観測値に対してすべて ±2.5cm 以内で、95% が 2 に収まる結果となった。以下にその推定式を示す。

$$\text{スランブ (cm)} = 6.21 + 5.72 \times X_1 - 0.06 \times X_2 - 0.54 \times X_3$$

$$X_1 : \text{みつかさ比重} \quad X_2 : 45 \mu\text{m 残分 (\%)} \quad X_3 : \text{強熱減量 (\%)}$$

空気量：空気量に対して相関の高いのが MFL-吸着量と強熱減量であった。MFL-吸着量を説明変数とした場合、単相関係数が 0.71 であった。また予測値と観測値の残差分析を行ったところ、観測値に対してすべて ±1.5% 以内で、95% が 2 に収まる結果となった。以下にその推定式を示す。

$$\text{空気量 (\%)} = 5.87 - 3.99 \times X_1 \quad X_1 : \text{MFL-吸着量 (mg/g)}$$

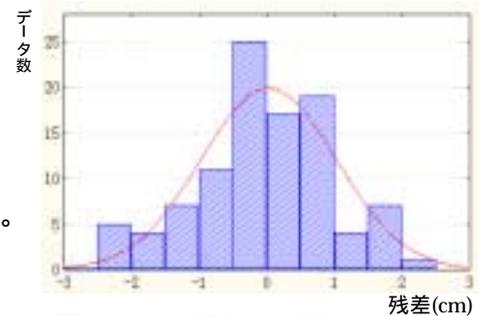


図 4 スランブ予測値と観測値の残差

4. まとめ

- ・ FA の品質を示す値からコンクリートのフレッシュ性状の想定がある程度可能である。
- ・ 今回検討した FA の品質変動の範囲では、FA 置換による強度への影響は認められなかった。
- ・ FA の pH が酸性のものは流動性が悪くなる傾向が認められた。

【参考文献】1)長滝重義他：各種フライアッシュの品質とコンクリートの流動性，セメント技術年報，Vol.39，pp.201-204，1985

2)田野崎孝雄他：コンクリート混和用石炭灰の品質について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，1，pp.333-338，1996