

表面保護工法材としての PFBC 灰の適用性に関する基礎的研究

福岡大学大学院 学生会員 ○ 神野勝俊 福岡大学大学院 正会員 添田政司
西日本技術開発株式会社 正会員 楠貞則 九州電力株式会社 正会員 芦田広喜

1. はじめに

PFBC 灰は、環境負荷低減やエネルギー問題を考慮した加圧流動床複合発電方式 (PFBC: Pressurized Fluidized Bed Combustion) の発電プラントから発生する石炭灰である。PFBC 方式の発電所から発生する石炭灰は、従来のフライアッシュとは性質が異なり CaO , SO_3 が多く、自硬性を有するという特徴がある。また、近年化学的浸食によるコンクリート構造物の性能低下が問題となっており、その対策として、表面保護工法が用いられている。そこで、本研究では、表面被覆材や断面修復材へ PFBC 灰の適用性を検討するため、強度および耐酸性試験を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

セメントは、普通ポルトランドセメント (略号 OPC: 密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $3,280\text{cm}^2/\text{g}$), 高炉セメント B 種 (略号 BC: 密度 $3.02\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $3,920\text{cm}^2/\text{g}$), アルミナセメント (略号 AC: 密度 $3.01\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $4,750\text{cm}^2/\text{g}$) を使用した。PFBC 灰 (略号 P: 密度 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $4,250\text{cm}^2/\text{g}$) をセメント代替として使用した。フライアッシュは、JIS II 種 (略号 FA: 密度 $2.33\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $3,940\text{cm}^2/\text{g}$) を使用した。細骨材に海砂 (S: 表乾密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 0.96%) を使用した。混和剤は高性能 AE 減水剤 (SP: 高性能 AE 減水剤) を用いた。なお、アルミナセメントは早強性と化学的抵抗性に優れた特長を持っているため、本研究では結合材として使用した。表-1 に本実験で使用したモルタルの配合を示す。表中の配合名 P50, P60 は PFBC 灰のセメントに対しての置換率を示しており、一般的な 1:3 (質量比) モルタルを基本に、水結合材比を 40% とした 8 種類の供試体を作製した。

表-1 耐酸性モルタルの配合

配合 記号名	W/B (%)	単位量(g)							添加量 (B x %)
		W	OPC	BC	AC	PFBC(P)	S	FA (細骨材代替)	
OPC	40	180	450	-	-	-	1215	120	SP
BC			-	450	-	-			1.1
AC			-	-	450	-			1.2
P-100			-	-	-	450			0.9
BC-P50			-	225	-	225			2.2
BC-P60			-	180	-	270			1.6
AC-P50			-	-	225	225			1.6
AC-P60			-	-	180	270			1.8
									2.2

表-2 実験条件

試験項目		目標値 ¹⁾
フロー値		$165 \pm 10\text{mm}$
圧縮強度		$25\text{N}/\text{mm}^2$ (材齢7日) $45\text{N}/\text{mm}^2$ (材齢28日)
曲げ強度		$3\text{N}/\text{mm}^2$ (材齢7日) $7\text{N}/\text{mm}^2$ (材齢28日)
耐酸性 (5%硫酸浸漬)	質量変化率 (%)	$\pm 10\%$ 以内 (浸漬28日後)
	硫酸浸透深さ (mm)	3mm 以内 (浸漬28日後)

2.2 実験方法

耐酸性補修材の試験項目とそれぞれの目標値を表-2 に示す。圧縮強度試験および曲げ強度試験は、水中養生した $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の角柱供試体を用いて JIS R 5201 に準拠して材齢 7, 28 日で行った。耐酸性試験は $\Phi 7.5 \times 15\text{cm}$ の円柱供試体を用い、質量濃度 5% 硫酸水溶液に浸漬して行った。なお耐酸性試験は、浸漬槽に供試体 3 本ずつ適宜な間隔を取って供試体全体が浸かるように浸漬し、溶液の交換周期を 7 日毎とした。

質量変化率の測定は 1, 3, 7, 14, 21, 28 日で行い、硫酸浸透深さの測定は、浸漬終了した供試体の中央部をカッターにより切断し、切断面にフェノールフタレイン 1% 溶液を噴霧して、モルタル表面から呈色反応した範囲をノギスで測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 圧縮強度及び曲げ強度結果

図-1, 図-2 に圧縮強度試験および曲げ強度試験結果を示す。これらの図より、P100 単味で用いた場合は、材齢 28 日で圧縮強度は $3.2\text{N}/\text{mm}^2$ であり自硬性を有することが確認された。BC に PFBC 灰を 50% 置換した場合、初期材齢の圧縮強度は OPC より小さいが、材齢 28 日ではほぼ同等になることがわかる。しかし、PFBC 灰を 60% 置換した場合は、高炉セメントの含有量が少ないため、水和反応が疎かになり強度発現が遅延したと考えられる。一方、アルミナセメントを使用した配合では、材齢の経過とともに強度が低下する傾向にあった。この要因としては、結晶転

移が生じて結晶粒子間の空隙が増加し硬化体が多孔質となって強度が低下する²⁾ためと考えられる。また、PFBC 灰を置換した配合では、BC と同様、PFBC 灰の置換率を増加すると強度が小さくなる傾向にあった。

3.2 耐酸性試験

図-3 に 5%硫酸水溶液に浸漬した供試体の質量変化率を示す。浸漬期間 28 日終了時で目標値の質量変化率 $\pm 10\%$ を満足できたのは、BC-P50、BC-P60、AC の 3 配合であった。8 配合ともモルタル表面の剥落の程度は異なっており、質量変化率は OPC が最も大きく、次いで AC-P60、AC-P50 の順となった。使用したセメントの種類による影響では、まず、高炉セメント B 種を使用した BC は目標値を満たせなかったが BC-P50、BC-P60 は満足することができた。一般的な硫酸劣化のメカニズムは、セメント水和物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と硫酸イオンとの反応により石膏が生成され、その石膏がセメント化合物の C_3A と反応し、膨張性のエトリンガイトを生成して破壊に至ると言われている³⁾ため、セメント水和物の生成量が少ない BC-P60 次いで BC-P50、BC の順で硫酸劣化が抑制されたと考えられる。次に、アルミナセメントを使用した配合では、AC 単体では目標値を満足することができたが、AC に対して PFBC 灰の置換率が増加すると、質量変化率もそれに伴って減少する結果となった。これは、AC がアルミン酸カルシウムを主要鉱物としていることから、化学抵抗性を有しているためと考えられる。また、PFBC 灰中の CaO が少ないことから $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量も少ないため P100 も目標値を満足したと考えられる。

3.3 硫酸浸透深さ

図-4 に硫酸浸透深さの測定結果を示す。目標値を満足した配合は、BC、BC-P50、BC-P60、AC-P50、AC-P60 の 5 配合となった。P100 の配合の硫酸浸透深さが、他の配合と比べ大きい理由としては、PFBC 灰の強度が他の配合と比べ低いためと考えられる。

4. まとめ

(1) PFBC 灰の置換率が増加するにつれ、BC の初期強度の低下が起こる。しかし、長期において BC-P50 と OPC はほぼ同等の強度が得られる。また、同置換率の AC の初期は顕著に大きな値を示すが長期においては目標強度を下回る結果となった。

(2) 耐酸性試験は AC-P60 が最も大きく次いで OPC、AC-P50 の順となり、AC の耐酸性は強度と相関があると考えられる。また、BC-P50、BC-P60 は、化学抵抗性のある AC 単体よりも質量減少率を抑制した。硫酸浸透深さは P100 を除いてどの供試体もほぼ同程度である。

<参考文献>

- 1) 日本下水道事業団「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル」(平成 17 年 9 月)
- 2) 笹川幸男, 佐藤正孝, 白井健太郎, 坂井悦郎: フライアッシュを混和したアルミナセメントコンクリートの長期特性, コンクリート工学年次論文集, vol. 25, No1, 2003, pp1343
- 3) 堀口至, 市坪誠, 田中雅章, 福本直: 耐硫酸性を有する PFBC 灰硬化体の圧縮強度, コンクリート工学年次論文集, vol. 30, No2, 2008, pp531-534

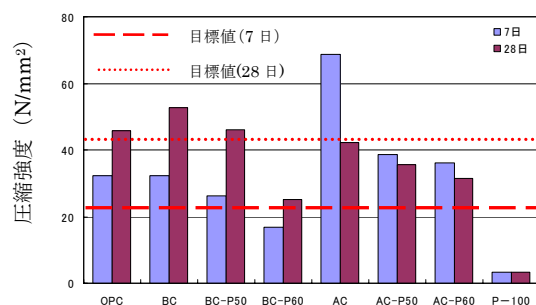


図-1 圧縮強度試験結果

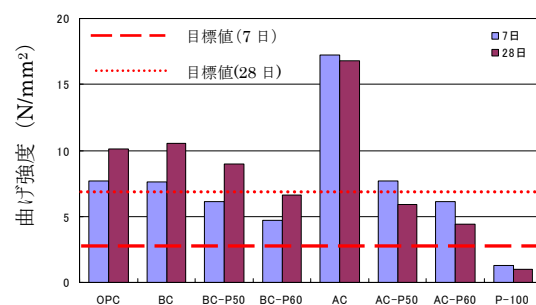


図-2 曲げ強度試験結果

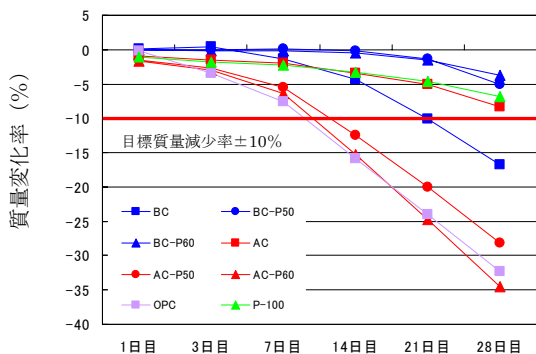


図-3 耐酸性試験結果

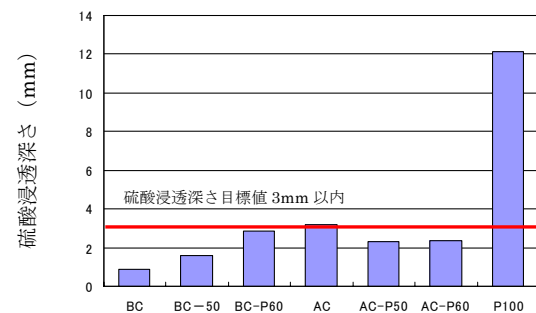


図-4 硫酸浸透深さ試験結果