

## ボールミル混合法を利用したフライアッシュの高活性化処理方法の一考察

日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 ○青木 康平  
 日本大学生産工学部 正会員 鶴澤 正美  
 日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 柳田 彩代子

## 1. 目的

フライアッシュ(石炭灰, 以下 FA と略記)は石炭火力発電による燃焼灰であり, セメント分野などで再利用されている資源である. 著者らの研究チームは混和材としての活用が有効である余剰の FA を, 高付加価値なセメント混和材化する手法を検討している. これまでの成果として, 飽和水酸化カルシウム溶液を用いた攪拌羽による FA の高活性化処理方法に関する研究を行ってきたが, 新たにセラミックス球によるボールミル混合方法を見出した. これは, モルタル混練前の FA の前処理として, セラミックス球で FA に衝撃エネルギーを加えることにより, FA の粉砕時に生じたガラス質面に  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が反応することで強度発現性が向上するとの仮説をもとに実験を進めた. 本研究ではこのボールミル混合方法を用いた強度増進性について検討を行った.

## 2. 実験方法

## (1) 使用材料・供試体の配合

JIS A 6201 に準拠し普通ポルトランドセメントの 25% を FA に置換したモルタルを使用した. FA は全 7 種類(II 種または原粉)であり, 含有する結晶性鉱物の種類は同じであるが含有比率は異なる. 使用材料は水道水(W)・普通ポルトランドセメント(C: 密度  $3.14\text{g}/\text{cm}^3$ )・FA・JIS 標準砂(S)とした. FA の化学成分および活性度指数を表-1 に, FA 含有モルタルお

よび JIS モルタルの配合表を表-2 に示した.

## (2) 使用器具・供試体の作製方法

練り混ぜには JIS モルタルミキサー, 型枠には  $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$  のスチール製円柱型枠を使用した. 脱型後は 28 日間水中養生した. また, ボールミル混合時の使用道具についてはボールミル回転架台 2 段式, 内容量 500ml の広口試薬瓶(本体外径 73mm, 口内径 44mm, 長さ 168mm, 低密度ポリエチレン製), セラミックス球を使用した. なお, 本稿でいう JIS モルタルとは FA が未混入のものを示している.

## (3) ボールミル混合方法

ボールミル混合方法は飽和水酸化カルシウム溶液, 広口試薬瓶, セラミックス球, ボールミル回転架台を使用した. ボールミル混合方法の手順としては, 広口試薬瓶に飽和水酸化カルシウム溶液, 水, 無機粉末, FA, セラミックス球を加えボールミル回転架台を使用し混合を行った.

## (4) 圧縮強度試験方法

圧縮強度試験は JIS A 6201 附属書 2 を準拠して測定を行い, 荷重速度は  $1.2\text{kN}/\text{sec}$  で行った. 供試体は 6 本ずつ測定を行い, その平均を測定値とした.

表-2 各供試体の配合表

FA・(C+FA) <sup>-1</sup> /%	kg・m <sup>-3</sup>			
	W	C	FA	S
0	225.0	450.0	0.0	1350.0
25	225.0	337.5	112.5	1350.0

表-1 各 FA の化学成分および活性度指数

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Ig.loss (mass%)	Activity index
FA1	52.8	29.1	5.0	4.5	1.8	0.3	0.5	1.0	4650	2.6	0.89
FA2	52.9	28.8	4.7	4.4	1.5	0.3	0.5	0.9	4310	3.6	0.87
FA3	55.3	25.2	4.5	4.2	1.1	0.3	1.2	1.3	3670	3.7	0.86
FA4	63.2	22.4	4.9	2.5	1.0	0.3	0.5	1.4	4040	2.1	0.85
FA5	60.5	26.2	4.0	1.6	0.8	0.3	0.4	1.5	4350	2.2	0.92
FA6	51.9	21.5	10.0	4.2	2.4	0.8	0.9	2.0	4720	4.8	0.88
FA7	61.1	24.5	4.7	2.6	1.0	0.3	0.3	1.3	3560	2.0	0.86

キーワード セメント, フライアッシュ, ポゾラン反応, 活性度指数, 反応性, 圧縮強度

連絡先 : 〒275-8575 千葉県習志野市 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学専攻 TEL 047-474-2420

3. 圧縮試験結果

(1) FA のボールミル混合方法の強度比較

本実験はスクリーニング試験により概ね最適化が行われており、最適混合方法で処理したFAと未処理FAの材齢1か月の圧縮強度を比較し表-3に示した。全てのFAが未処理に比べ強度増進している。全体的に大きく強度増進し処理と未処理の増加率は平均で18.0%であることからボールミル混合方法の有効性が確認できる。なおFA5の圧縮強度の増加率が少ない理由については再現性もあるが、その理由については不明であり、今後の課題である。

(2) 処理方法の違いによる強度比較

これまで著者らの研究チームが行ってきた攪拌羽による活性化処理方法で処理したFAとボールミル混合方法で処理したFAの3日、7日、14日、28日における圧縮強度比較を図-1に示した。各処理方法による強度の差はいずれも材齢3日に関してはおよそ同程度であるが材齢14日以降に大幅な圧縮強度変化が見られた。これは、ポズラン反応の過程において飽和水酸化カルシウム溶液が反応の活性に影響を与えていることやボールミル混合方法の有効性を示していると考え、当初たてた仮説が概ね正しいと推定している。また、攪拌羽による高活性化処理方法に比べてボールミル混合方法は圧縮強度増進効果の時期が早いことや圧縮強度の伸びが大きいことから、FAのボールミル混合方法はセメントの水和反応やFAのポズラン反応を促進している可能性がある。

(3) 圧縮強度と活性度指数の関係性

図-2には表-1のFAの活性度指数を横軸に縦軸には圧縮強度を示している。活性度指数を示した実圧縮強度とボールミル混合方法で処理したFAをプロットし圧縮強度の関係性を示す。その結果、ボールミル混合方法で処理したFAと活性度指数との間には決定係数R<sup>2</sup>が0.908と高い相関性があり、プロットも比較的均等に分布している。さらに2つの直線は活性度指数が大きいほど接近しており活性度指数が小さいと離れていく、すなわち活性度指数が小さいFAにボールミル混合方法は有効な改質手段である可能性もあることがわかる。また今回使用したFAはいずれもJIS A 6201に定められた活性度指数80%(0.8)以上の良質なFAであるため、JIS外の活性度指数80%以下のFAについても検討していく予定である。以上の点から活性度指数85%(0.85)以上のFAに関して言えば、材齢28日のボールミル混合方法で処理したFAを使用したモルタルの圧縮強度を推定する場合は、FAの活性度指数から推定できることが判明した。得られた回帰式を以下に示す。

$$y = -59.763x + 109.86, \quad R^2 = 0.908$$

ここで、

y: ボールミル混合方法で処理したFAの材齢28日の  
圧縮強度 [N/mm<sup>2</sup>]  
x: FAの活性度指数

表-3 FAの処理および未処理の強度比較

		FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6	FA7
Compressive strength/N・mm <sup>2</sup>	Untreated	46.6	46.1	46.4	44.2	52.5	47.3	46.6
	Treated	57.1	57.9	59.0	58.6	54.8	56.6	58.7
Increase rate/%		18.4	20.4	21.3	24.7	4.2	16.4	20.7

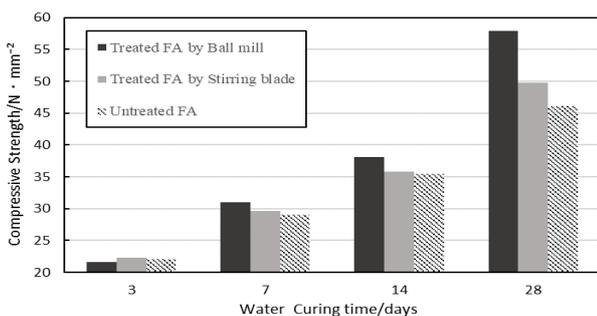


図-1 FAの処理方法および養生日数別の強度比較

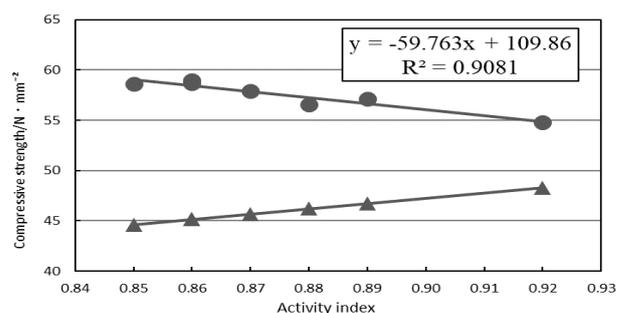


図-2 圧縮強度と活性度指数の相関性