

フライアッシュを細骨材の一部と置換したコンクリートの諸特性

中部電力（株）土木建築部 正会員 望月 真・尾之内厚志
 （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）コンテック部 板井 知明

1. はじめに

中部電力㈱では碧南火力発電所 4・5 号機（海外炭専焼）の増設により、石炭灰の発生量が倍増する。そこで、石炭灰の有効利用拡大を図るために、フライアッシュ（以下 FA）を細骨材の一部と置換して（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。しかし、FA 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るため、中部電力碧南火力産 FA を細骨材の一部と置換したコンクリートの諸特性について、FA の種類、置換率をパラメーターとして各種試験を行った。

2. 試験の概要と結果

2 - 1 試験材料：表 1 に試験材料を、表 2 に使用した FA の物性を示す。FA は、JIS A6201「コンクリート用フライアッシュ」の比表面積に注目して 種、種および 種に相当する 3 種類（以下各々、FA、FA および FA と記す）を用いた。碧南火力発電所の既設サイロから通常搬出する分級灰は JIS 種であり、今回は電気集塵機の 3 段目（煙突側）から JIS 種を、1 段目（ボイラー側）から JIS 種相当の FA を採取した。FA の品質は密度が 1.90 g/cm^3 と規格値（ 1.95 ）を外れるほかは、いずれの物性も規格値を満足している。

表 1 試験材料

水	上水道水
セメント	普通ポルトランドセメント（3 社混合品）密度 3.16
粗骨材	三重県北勢産 砕石 （粒形判定実積率 57.8%、 $G_{\max}20$ ）
細骨材	三重県北勢産 砕砂 （粒形判定実積率 54.0%）
混和剤	AE 減水剤（ナリカホソ酸塩誘導体） AE 補助剤（脂肪酸とポリオキシアルキルエーテル）

表 2 フライアッシュの物性（中部電力碧南火力産）

	比表面積 (cm^2/g)	密度 (g/cm^3)	強熱減量 (%)	MB 吸着量 (mg/g)
FA	6000	2.28	0.6	0.06
FA	3230	2.17	3.04	0.47
FA	2250	1.90*	0.4	0.04

* JIS 種規格外

2 - 2 コンクリート試験

表 3 に示すように、練上げ時の目標スランブを 8,12,15cm、空気量を 4.5%に設定し、単位セメント量一定の条件下で FA 置換率を 0~40%（外割）と変化させて各種試験を行った。単位水量は、FA 置換率 0%（無混入）において目標スランブが得られる量で一定とし、置換率の変更に伴う目標スランブの確保は減水剤の増減で調整した。なお、砕砂を使用したため、単位セメント量 275kg、スランブ 8,12,15cm の一部のケースで水結合材比 $W/(C+F)$ が 65%を超えているが、FA 置換による影響を検討するという観点から高性能 AE 減水剤は使用しなかった。単位セメント量は 200~350kg/m³までの 6 ケースとし、最も一般的と考えられる 275kg/m³、スランブ 8,15cm の

表 3 配合試験および圧縮強度試験のケース

単位セメント量 kg/m ³	FA 種類	目標スランブ cm	FA 置換率 F/(C+F)%	水結合材比 W/(C+F)%	単位水量 kg/m ³
200	FA	8	30	63.0	180
225	FA	8	20,30	64.0,56.0	180
250	FA	8	10,20,30	64.8,57.6,50.4	180
275	FA, FA, FA	8,15,FA のみ 12	0,5,10,20,30, FA のみ 40	70.9~45.8 70.9~39.3	180,188,195
300	FA	8, 15	0,5,10,20,30	65.0~42.0	180,195
350	FA	8, 15	0,5,10,20,30	54.9~36.0	180,192

（キーワード）：フライアッシュ、コンクリート、細骨材代替、外割置換、粉末度

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

FA の置換率を高めることにより材料分離が解消し、ワーカビリティが改善された。図 1 に FA 種別による減水剤使用量の変化を示す。FA I、FA II では混入量の増加と共に減水剤量が増加するが、FA III では混入量の増加と共に激減し、120 kg/m³ 混入時に減水剤は不要（スランプ 8,15）となった。図 2 に単位セメント量 275kg/m³、スランプ 8cm の圧縮強度試験結果（活性度は FA 無混入配合に対する強度比）を示す。FA の外割置換による強度増進は、材令 7 日までは 3 種とも小さく、FA III では材令 28、91 日に、FA I、FA II では材令 91 日において置換率にほぼ比例して認められる。

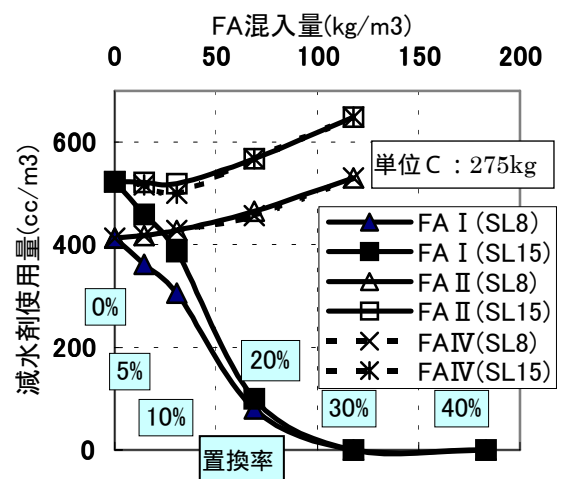


図 1 FA 種別による減水剤使用量の変化

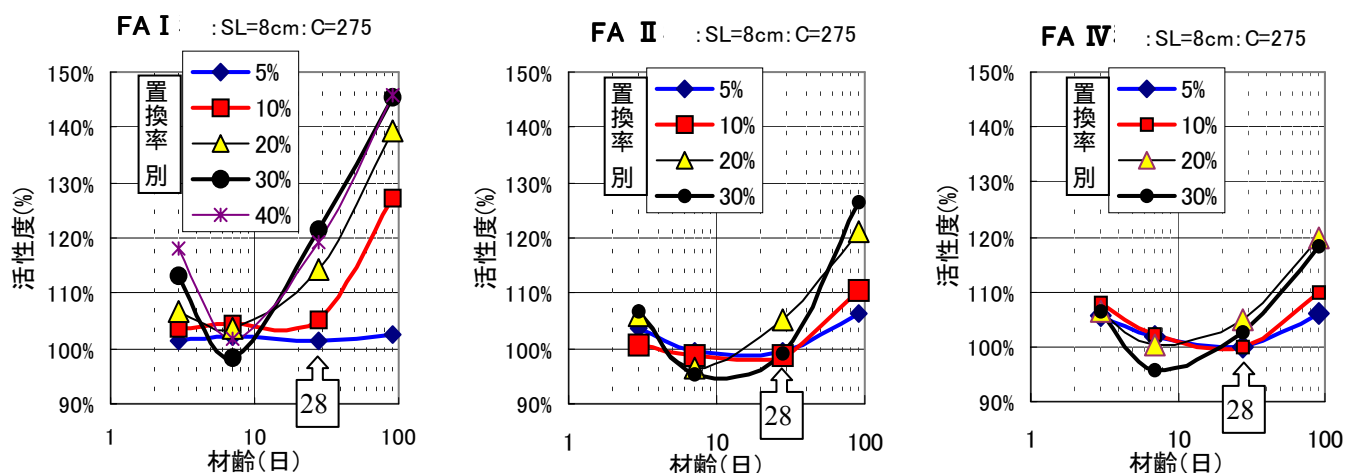


図 2 FA 種別による活性度の経時的変化（活性度 = FA 置換圧縮強度 / FA 無混入圧縮強度）

表 4 にフレッシュ性状試験と硬化後特性試験のケースおよび結果を示す。今回の置換率の範囲内では、断熱最終上昇温度は FA 量 20kg あたり約 1℃ 上昇しており、FA の微粉末効果により水和熱が増加するものと思われる。塩化物イオン浸透量は、FA 置換率が大きくなるに従い浸透深さは小さくなっており、コンクリートの遮塩性向上に効果があると言える。

表 4 フレッシュ・硬化後特性試験の試験ケースおよび結果（FA 種、単位セメント量 275 kg/m³）

試験項目		目標スランプ (cm)	FA 置換率 F/(C + F) (%)	結果の概要
フレッシュ	経時変化試験（スランプ・空気量）	8,15	0,5,10,20,30	無混入との明確な差はないが、スランプ 15cm ではスランプ 10cm が若干小さくなる。
	ブリーディング試験	8,15	0,10,30	置換率が大きくなると、ブリーディング率は小さくなる。
	凝結試験	8,12,15	0,10,30	水セメント比大で遅延するが、無混入との明確な差はない。
硬化後	断熱温度上昇試験	12	0,10,20,30	最終上昇温度は FA 混入量に比例して増加する。（約 1℃ / FA20kg）
	凍結融解試験	12	同上	相対動弾性係数、質量減少率とも、無混入との明確な差はない。
	乾燥収縮試験	12	同上	長さ変化率、質量減少率とも、無混入との明確な差はない。
	促進中性化試験	12	同上	中性化深さにおいて、無混入との明確な差はない。
	塩化物イオン浸透量試験	12	同上	置換率が大きくなると、塩化物イオン浸透深さが小さくなる。

3. まとめ

- ・FA 置換により、単位セメント量 275kg/m³未満の貧配合では、ワーカビリティを改善することができる。
- ・FA III 種では、置換率の増加とともに減水剤量が減少し、置換率 30%では減水剤が不要となった。
- ・試験を行った置換率 30%の範囲内では、FA 置換によるフレッシュ性状、強度等への悪影響は認められない。

【謝辞】本試験を実施するにあたり、名古屋工業大学梅原秀哲教授、岐阜大学六郷恵哲教授および名古屋大学森博嗣助教授にご指導いただきました。ここに記して、感謝いたします。