

高 C₃S フライアッシュコンクリートの配合選定と実機プラントにおける品質確認

太平洋セメント（株） 正会員 ○前堀 伸平 小川 洋二
 （株）富士ピー・エス 正会員 中村 文香 徳光 卓

1. はじめに

資源の有効利用ならびに二酸化炭素排出量低減の観点からフライアッシュの活用が求められているが、一般にフライアッシュを混合したコンクリートは強度発現性が低いという課題を有している。その解決策として、基材に高 C₃S セメントを用いて強度発現を改善したフライアッシュセメント¹⁾が開発されている。本稿では、実構造物への適用に向けた室内試験練りによる高 C₃S フライアッシュコンクリート（以下 HAFC）の配合選定と、実機プラントにて HAFC を製造出荷した際の品質を確認した結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 使用材料

使用材料を表-1 に示す。骨材および混和剤はいずれも打設場所近隣の生コン工場で使用されているものである。今回使用した高 C₃S フライアッシュセメントにおいて、基材となる高 C₃S セメントの鉱物組成（リートベルト法により算出）を表-2、混合しているフライアッシュの品質を表-3 にそれぞれ示す。セメント中における C₃S の割合は 70%以上である。また、フライアッシュは JIS 規格のフライアッシュⅡ種に相当する品質であり、静電ベルト式分級装置により未燃炭素を除去しているため、強熱減量が非常に小さいという特徴を有している。

表-1 使用材料

材料	種類	記号	密度*	概要
セメント	高C ₃ Sフライアッシュセメント	C	2.94	比表面積3,770cm ² /g
細骨材	洗砂	S	2.58	福島県いわき産
粗骨材	硬質砂岩砕石2005	G	2.73	福島県いわき産
混和剤	高性能AE減水剤	SP	-	ポリカルボン酸系化合物
	AE剤	AE	-	アニオン系界面活性剤

*骨材の密度は表乾密度を示す

表-2 セメント鉱物組成

	鉱物組成(%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
基材	71.7	7.8	4.8	11.6

表-3 フライアッシュの品質

	SiO ₂ (%)	湿分 (%)	ig. loss (%)	密度 (g/cm ³)	45μm 残分 (%)	比表面積 (cm ² /g)	フロー 値比 (%)	活性度指数 (%)	
								28日	91日
FA	58.8	0.1	0.63	2.29	14.1	3250	109	91	107

表-4 コンクリートの配合条件

水準名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
HAFC43	43	46.9	170	396	787	942
HAFC45	45	47.4	170	378	802	942
HAFC47	47	47.9	170	362	818	942

今回打設する実構造物は、寸法 7.3m×10.0m×1.0m の PC 部材の反力床²⁾であり、コンクリートの設計基準強度は 36N/mm²、プレストレス導入強度は 30N/mm² 以上であった。配筋量が多いこともあり、目標スランプは 18±2.5cm、空気量は 4.5±1.5%とした。

室内試験で実施したコンクリートの配合を表-4 に示す。配合はこれまでの HAFC および生コン工場の実績より選

定した。反力床はマッシュであることより、水和熱による内部拘束ひび割れ等が懸念されたので、断熱温度上昇試験より求めた HAFC の発熱特性や、打設時期に対応した外気温（15℃）等を解析条件とした温度応力解析を行い、ひび割れ発生リスクを検討した。その結果、早期にプレストレスを導入することで、ひび割れ発生リスクを低減できることがわかった。

図-1 に示す温度履歴パターンは、解析結果より得られた反力床の中央部と側面部のそれぞれ中心および上面の計 4 箇所の温度を平均した値である。今回、採取・封かんした φ10×20cm のテストピースに図-1 の温度履歴を与え、材齢 3,4,5 日の時点でそれぞれ圧縮強度試験を行うことにより、圧縮強度が 30N/mm² に到達する材齢を確認することとした。

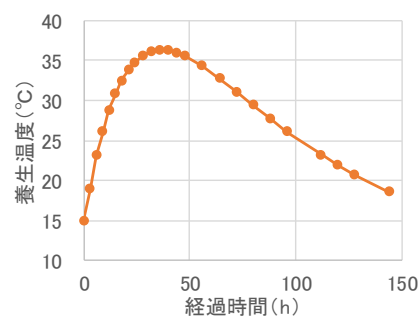


図-1 温度履歴パターン

キーワード フライアッシュ、エーライト、プレストレストコンクリート、生コンクリート、空気量

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント（株） 中央研究所第 2 研究部 TEL043-498-3836

2.3 実機プラントでの試験概要

実機プラントでの HAFC の練混ぜは、容量 1.7m^3 の強制練りミキサを用いて、1 バッチ 1.33m^3 を材料投入完了後 50 秒練混ぜ、連続で練った 3 バッチ分の計 4.0m^3 をアジテータ車に積載して出荷した。反力床に打設するコンクリート量が約 70m^3 であることより、 4.0m^3 積みのアジテータ車を計 18 台出荷した。所定の台数ごとに、練上がり直後のアジテータ車よりコンクリートを採取して、フレッシュ試験を実施した。

3. 試験結果

3.1 室内試験による配合選定

HAFC を用いた室内試験の結果を表-5 に示す。目標とするフレッシュ性状を得るための混和剤添加量は、W/C による差はなく、適正な範囲内であった。

また、標準水中養生による材齢 28 日の圧縮強度試験結果より、いずれの配合も設計基準強度を満足することが確認された。

表-5 室内試験結果

水準名	混和剤添加量		フレッシュ性状			圧縮強度	
	SP (C×%)	AE (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	材齢7日 (N/mm^2)	材齢28日 (N/mm^2)
HAFC43	0.4	0.002	18.0	3.9	21	36.5	47.5
HAFC45	0.4	0.002	18.0	4.8	22	33.5	45.0
HAFC47	0.4	0.002	19.0	5.4	22	30.9	42.1

温度履歴養生を行った際の強度発現について図-2 に示す。これによると、W/C=45%以下であれば、材齢 3 日の時点で圧縮強度は 30N/mm^2 以上となることを確認された。

以上の結果を踏まえて、W/C=45%の HAFC45 配合を生コン工場での配合（記号：普通 36-18-20-FB）に選定した。これは、普通ポルトランドセメントを用いた生コン工場の配合（記号：普通 36-18-20-N）とほぼ同じであった。すなわち、HAFC の配合設計は普通コンクリートと同様に行うことが可能であると考えられる。

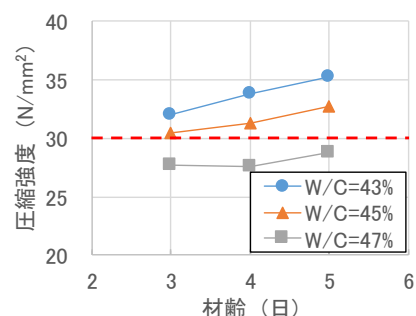


図-2 温度履歴下の強度発現

3.2 実機プラントでの出荷時における品質確認

実機プラントでの出荷時における、アジテータ車ごとのスランプおよび空気量の試験結果を図-3 に示す。出荷時のアジテータ車間のスランプおよび空気量は、いずれも目標の範囲内に収まった。計 18 台の間での SP 量は $C \times 0.9 \sim 1.0\%$ の範囲であり、室内試験に比べて添加量は増加したものの、変動は小さかった。

またフライアッシュ使用で懸念される空気量の変動も小さく、AE 剤を添加せずに十分に制御することができた。これは表-3 に示したとおり、未燃炭素の少ない安定した品質のフライアッシュを用いたことが一因であると考えられる。

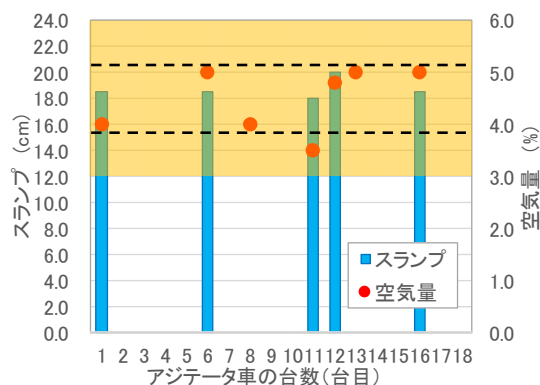


図-3 出荷時のスランプおよび空気量

4. まとめ

本試験結果より、高 C_3S セメントを用いた FA セメントは、フレッシュ性状や強度発現に関して、実機レベルでのコンクリートにおいても普通ポルトランドセメントと同様に取扱えることが明らかとなった。すなわち、HAFC は一般のコンクリート構造物に幅広く利用できる可能性が示された。今後は耐久性のデータを蓄積するとともに、プレキャスト製品への適用など様々な用途への展開を図る予定である。

参考文献

- 1) 安藝ほか：高エーライトセメントを用いたフライアッシュセメントの基本特性，セメント・コンクリート論文集，71 巻，1 号，pp10-16, 2017
- 2) 中村ほか：高 C_3S フライアッシュコンクリートのマスコンクリートへの適用，第 74 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2019（投稿中）