

クリンカー鉱物組成がフライアッシュセメントの諸特性に及ぼす影響

足利工業大学 学生会員 ○ 趙 騰
 足利工業大学 正会員 宮澤 伸吾
 東京工業大学 正会員 坂井 悦郎
 (株)デイ・シイ 正会員 二戸 信和
 太平洋セメント(株) 平尾 宙

1. はじめに

本研究の目的は、セメントのクリンカー鉱物組成を調整することによってフライアッシュセメントの各性能を改善し、普通セメントに代わる新たなフライアッシュセメントを提案することである。エーライト量を高めに調整したセメント（高エーライトセメント）を実機プラントで試作し、このセメントを基材セメントとしたフライアッシュセメントの強度発現性、発熱性および収縮ひび割れ抵抗性について実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究に使用した各セメントの比表面積および Bogue 式によるクリンカー鉱物組成を表-1 に示す。N は市販の普通ポルトランドセメントであり、A(1), A(2), A(3), A(4)はセメント工場の実機プラントにより試作したエーライト量の高いセメントである。

コンクリートの配合を表-2 に示す。フライアッシュ JIS の II 種規格を満足するフライアッシュ(FA)を用い、置換率を 15%~20%とした。なお、A(2)-FA20b および A(3)-FA15 は収縮ひび割れ抵抗性を改善するため、SO₃ 量がそれぞれ 2.9%と 3.4%となるように無水石膏を添加した。目標スランプは 18±2.5cm とし、目標空気量は 4.5±1.0%として設定した。

2.2 試験方法

(1) 断熱温度上昇試験

コンクリートの水和発熱特性は 600×600×600mm

(内寸法 200×200×200mm) の発泡スチロール製保温型枠を用いた簡易な断熱温度上昇試験で検討した。文献²⁾の方法より簡易断熱試験の測定値から断熱温度上昇量を推定し、式 $Q(t) = Q_{\infty} [1 - \exp\{-r(t - t_0)\}]$ で近似した。

ここに、 t : 材齢 (日), $Q(t)$: 材齢 t 日までの断熱温度上昇量 (°C), Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量 (°C), r : 断熱温度上昇速度に関する係数, t_0 : 発熱開始材齢 (日)

(2) 拘束ひび割れ試験

寸法 100×100×1100mm の角柱の供試体を各配合 3 本ずつ作製して供試体断面の中心の軸方向に異形鉄筋 D25 を埋設し、拘束ひび割れ試験を行った。鉄筋は中央部 300mm 区間のリブと節を切削加工して $\phi 22\text{mm}$ とし、相対する 2 面にひずみゲージを貼り付けた。材齢 3 日まで型枠中でシール養生を行い、その後脱型して 20°C, 60%R.H. の恒温恒湿室内に設置し、乾燥を開始させた。乾燥期間中に測定した鉄筋のひずみの値からコンクリートに発生する拘束応力を算出するとともに、ひび割れが発生する乾燥期間を測定した。

キーワード: フライアッシュ, クリンカー, エーライト, 圧縮強度, 断熱温度上昇量, 収縮ひび割れ

連絡先: 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 TEL. 0284-62-0605 E-mail: smiyazaw@ashitech.ac.jp

表-1 セメントのキャラクター

セメント	ブレン (cm ² /g)	SO ₃ (%)	f.CaO (%)	クリンカーの鉱物組成(%)			
				C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
N	3350	2.32	0.5	60	13	9	10
A(1)	4190	2.67	2.0	65	7	10	9
A(2)	4690	2.43	1.8	69	5	9	9
A(3)	4820	3.36	3.0	72	0	9	8
A(4)	4800	2.58	3.2	69	3	10	9

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE剤 B×%
			W	C	FA	S	G	
N	55	46	180	327	0	800	957	1.0
N-FA18			175	261	57	802	959	
A(1)-FA18			180	268	59	791	947	
A(2)-FA20			180	262	65	802	945	
A(2)-FA20b			180	262	65	790	945	
A(3)-FA15			180	278	49	802	946	
A(4)-FA20			180	262	65	801	944	

3. 結果および考察

3.1 圧縮強度試験結果

コンクリートの圧縮強度試験（20℃水中養生）の結果を図-1に示す。A(1)-FA18の初期強度はNより若干小さいが、通常のFAセメントN-FA18よりかなり大きかった。材齢28日でNと同等となり、91日ではNを上回り、他の高エーライトFAセメントとほぼ同等となった。A(2)-FA20、A(3)-FA15およびA(4)-FA20の圧縮強度はいずれもNより高かった。その中、C₃S量が最も高いA(3)-FA15の圧縮強度は初期で極めて高いが、28日強度がうまく増加しなかった。また、材齢91日では、高エーライトFAセメントを用いたコンクリートの圧縮強度がお互いに差が小さかった。

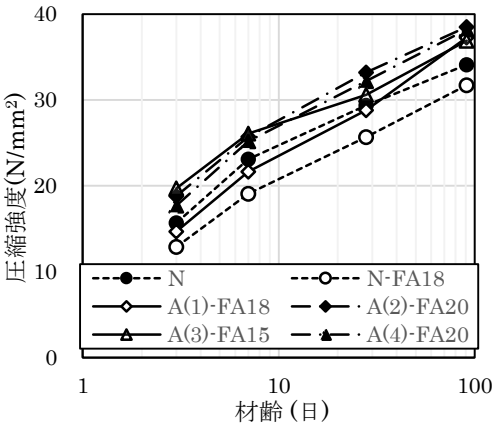


図-1 圧縮強度試験結果

3.2 断熱温度上昇試験結果

断熱試験上昇量に関する係数を表-3に示す。高エーライトセメントを用いたFAセメントはいずれも、終局温度上昇量がN-FA18より高いが、Nと比べて温度上昇量がかなり抑えられ、約2.5~5.5℃低かった。温度上昇速度はA(1)-FA18とA(2)-FA20はNと同じ程度であり、A(3)-FA15はNよりかなり速かった。

表-3 断熱温度上昇量に関する係数

セメント	Q_{∞}	r	t_0
N	52.3	1.47	0.14
N-FA18	45.2	1.33	0.11
A(1)-FA18	46.7	1.48	0.12
A(2)-FA20	49.8	1.48	0.14
A(3)-FA15	48.3	2.36	0.11

3.3 拘束ひび割れ試験結果

表-4に各供試体が乾燥開始からひび割れ発生までの日数を示す。各配合3個の供試体の試験結果は大きなばらつきが存在しているが、A(1)-FA18およびA(2)-FA20のひび割れ発生日数はほぼ同じであり、Nと比べるとひび割れ発生が若干早い、N-FA18より約10日間遅かった。SO₃量を高く設定したA(2)-FA20bがA(2)-FA20よりひび割れ発生日数は約10日間延長され、Nと同等となった。SO₃量が最も高いA(3)-FA15の発生日数はA(2)-FA20の約4倍、Nの約3倍であり、ひび割れ抵抗性が大幅に改善された。

表-4 ひび割れ発生した乾燥期間

セメント	SO ₃ 量 (%)	ひび割れ発生期間(日)			
		No.1	No.2	No.3	平均
N	2.32	32	64	32	42
N-FA18	1.98	32	16	20	23
A(1)-FA18	2.26	44	31	27	34
A(2)-FA20	2.04	25	34	38	32
A(2)-FA20b	2.90	61	36	33	43
A(3)-FA15	3.40	89	136	138	121

4. まとめ

- (1) 高エーライトセメントを用いたFAセメントは普通ポルトランドセメントと比べて、初期強度発現が同等以上であり、長期強度が増加した。初期材齢の強度発現にはC₃Sの増加が効果的であり、長期材齢の強度発現にはFAのポゾラン反応が寄与していると考えられる。
- (2) 高エーライトセメントを用いたFAセメントの温度上昇量は普通ポルトランドセメントよりかなり低く、温度ひび割れの低減効果が期待される。
- (3) SO₃量を高めに設定した高エーライトFAセメントは普通ポルトランドセメントと比較して収縮ひび割れに対する抵抗性が顕著に改善された。
- (4) セメントのクリンカー鉱物組成を調整することにより、初期強度が高く、ひび割れ抵抗性に優れたフライアッシュセメントを開発する可能性が示唆される。

参考文献：1)宮澤伸吾，横室隆，坂井悦郎，二戸信和：高エーライトセメントを用いたフライアッシュコンクリートの特性，セメント・コンクリート論文集，Vol.69(2016)，掲載決定 2)葛西康幸ほか：簡易な断熱試験による高強度コンクリートの断熱温度上昇特性の推定に関する検討，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，V-584，pp.1167-1168(2002)