

高炉セメントを使用したコンクリートの強度発現性に及ぼす C-S-H 系早強剤の効果

BASF ジャパン 正会員 ○井元 晴丈
BASF ジャパン 花房 賢治
BASF ジャパン 正会員 小泉 信一
BASF ジャパン 正会員 馬場 勇介

1. はじめに

高炉セメントは、環境負荷低減対策としての利用が推奨されている。その硬化体は、長期強度の増進が大きく、かつ耐海水性や化学抵抗性に優れているが、初期強度が低いなどの特徴を有している。そのようなセメントに対して、凝結・硬化を促進可能な早強剤の効果を確認することは、環境負荷低減と製造・施工の効率化の観点から重要である。ここでは、C-S-H 系早強剤が、高炉セメント B 種 (BB) を使用したコンクリートの凝結および硬化性状に及ぼす効果について、高炉スラグの水和反応と空隙構造の評価と併せて検討を行った。

2. 実験概要

本試験で使用した材料を表 1 に示す。コンクリートの配合を表 2 に示す。試験温度は 20℃とした。フレッシュコンクリートのスランプおよび空気量が目標値になるように、混和剤の使用量を調整した。コンクリートの評価は、凝結時間 (JIS A 1147)、圧縮強度 (JIS A 1108)、および水銀圧入法による細孔径分布とした。養生条件は、標準養生と、図 1 に示す蒸気養生とした。

C-S-H 系早強剤を添加したペースト硬化体の高炉スラグの反応率の定量を行った。ペースト硬化体は、W/C=40%、20℃の条件で作製して所定材齢まで封かん養生した。養生温度履歴は、コンクリートの養生条件と同一とした。所定材齢となった硬化体は、アセトンと混合して粉碎して水和を停止させ、105℃で 24 時間乾燥させたのち、目開き 150μm の篩を全通するまで粉碎して、測定用の試料とした。高炉スラグの反応率は、サリチル酸-アセトン-メタノール溶液を用いた選択溶解法²⁾により求めた。

3. 結果・考察

図 2 に凝結時間を示す。凝結時間は、C-S-H 系早強剤の添加量に応じて促進されることが確認された。図 3 および図 4 にそれぞれ標準養生の材齢 1 日および蒸気養生の材齢 7 時間の圧縮強度を示す。標準養生の材齢 1 日において、BB の W/C を 35%として C-S-H 系早強剤を Cx4%添加することで、W/C=40%の N と同等の強度が得られた。一方、蒸気養生の材齢 7 時間では、N と同一の W/C でも C-S-H 系早強剤を BB に Cx4%添加することで N と同等の

表 1 使用材料の種類および物理的性質

材料	記号	種類および物理的性質
練混ぜ水	W	上水道水
セメント	N	普通ポルトランドセメント (密度:3.16 g/cm ³ , 比表面積:3,370 cm ² /g)
	BB	高炉セメント (B 種) (密度:3.04 g/cm ³ , 比表面積:3,860 cm ² /g)
細骨材	S	大井川水系陸砂 (表乾密度: 2.59 g/cm ³ , FM: 2.57)
粗骨材	G	青梅産硬質砂岩砕石 表乾密度: 2.66 g/cm ³ , 最大寸法: 20mm
混和剤	SP	高性能減水剤 ポリカルボン酸エーテル系化合物
早強剤	ACX	C-S-H 系早強剤 (C-S-H ナノ粒子のサスペンション, 粒子サイズ: 数十~数百 nm)

表 2 コンクリートの配合

記号	目標 スラン プ (cm)	目標 空気 量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					ACX (C×%)
					W	BB	N	S	G	
B35X0	12.0 ±1.5	2.0 ±0.5	35.0	45.3	160	457	-	785	975	0.0
B35X2										2.0
B35X4										4.0
B40X0										0.0
B40X2			40.0	46.8	160	400	-	834	975	2.0
B40X4										4.0
N40X0										0.0
B45X0										0.0
B45X2			45.0	47.9	160	356	-	871	975	2.0
B45X4										4.0

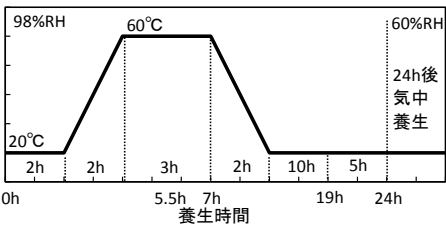


図 1 蒸気養生条件

キーワード C-S-H 系早強剤, 高炉スラグ, 反応率, 凝結, 圧縮強度, 細孔径分布

連絡先 〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2722 BASF ジャパン (株) 建設化学品事業部 TEL 0467-59-5182

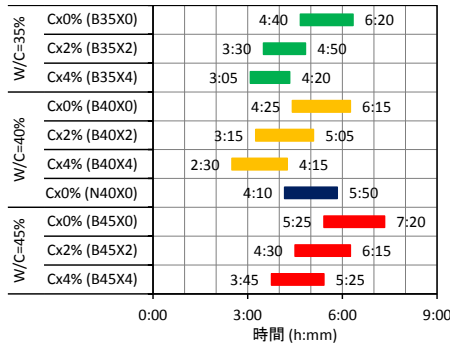


図2 凝結時間

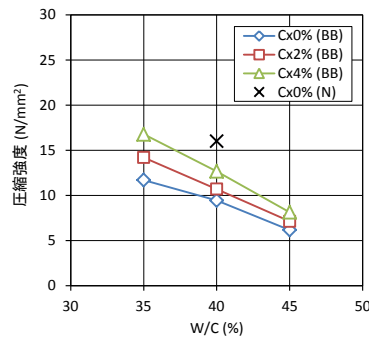


図3 圧縮強度(標準養生, 材齢 1 日)

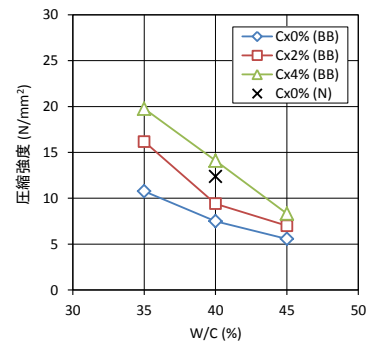


図4 圧縮強度(蒸気養生, 材齢 7 時間)

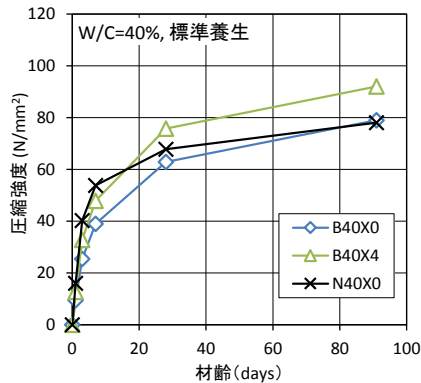


図5 圧縮強度(W/C=40%, 標準養生)

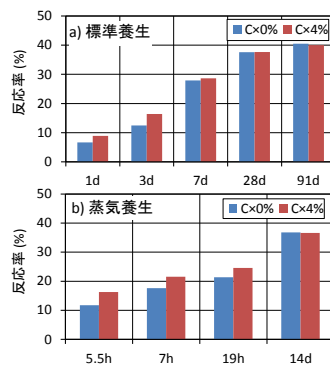
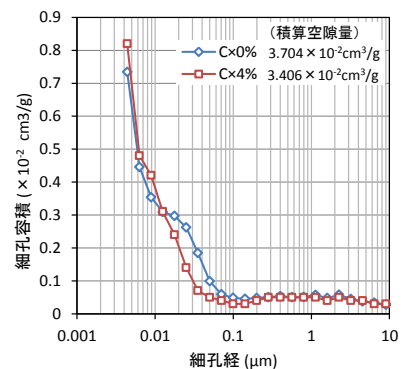


図6 高炉スラグの反応率

図7 細孔径分布
(標準養生, W/C=40%, 材齢 91 日)

圧縮強度を示した。これは、高炉スラグの水和反応の温度依存性が高いことに起因していると考えられる。図5は、標準養生における強度発現性を示す。BBの圧縮強度は長期的にNに追いつくが、BBにC-S-H系早強剤を添加した場合、BBの長期的な強度発現性がさらに向上されることが確認できる。

図6に、各養生条件におけるペースト硬化体の高炉スラグの反応率を示す。いずれの養生条件においても、C-S-H系早強剤の添加により、高炉スラグの初期水和反応が促進されている。W/C=40%における強度発現性が同等であった、標準養生の材齢1日と、蒸気養生の材齢7時間の高炉スラグの反応率を比較すると、C-S-H系早強剤の添加に関わらず、蒸気養生の場合で十数%ほど反応率が高い。一方で、その時点でのNの強度は蒸気養生の方が低いことからクリンカーの反応率は蒸気養生の方が低いと推察される。材齢1日の標準養生と比較して材齢7時間の蒸気養生の方が高炉スラグの反応率が高く、結果として高炉スラグの反応の強度への寄与は蒸気養生の方が高くなっていると考えられる。さらに、C-S-H系早強剤の添加は、蒸気養生において強度に寄与している高炉スラグの反応がより促進されることで、高い強度増進効果を示しているものと思われる。一方、長期的には、C-S-H系早強剤の添加に関わらず高炉スラグの反応率は同等な値を示す。よって、標準養生で確認された、C-S-H系早強剤を添加することによるBBの強度発現性の向上については、高炉スラグの反応率からは説明できない。

図7に標準養生における材齢91日の細孔径分布を示す。高炉スラグの反応率が同等であるにもかかわらず細孔径分布はC-S-H系早強剤の添加により径が小さい側にシフトし、且つ、積算空隙量も低下している。C-S-H系早強剤の添加により、組織構造が変化することで長期的な強度発現性を向上させている可能性が示唆された。

4. まとめ

C-S-H系早強剤が、高炉セメントB種を使用したコンクリートの凝結および硬化性状に及ぼす効果について検討し、C-S-H系早強剤は、1) 凝結および強度発現性を向上させ、2) 高炉スラグの初期水和を促進させる、さらに、3) 長期的な高炉スラグの反応率は無添加と同等であるが硬化体の空隙構造を緻密化することを明らかにした。

参考文献

- 井元晴丈, 小泉信一, 花房賢治, 馬場勇介: C-S-H系早強剤を用いたコンクリートの初期硬化性状とブリーディング抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.2248-2253(2014)
- 近藤連一, 大沢栄也: 高炉水砕スラグの定量およびセメント中のスラグの水和反応速度に関する研究, 窯業協会誌, Vol.77, pp.39-46(1969)