

C-S-H 系早強剤の高炉セメントを使用したコンクリートへの効果

BASF ジャパン(株) 正会員 ○佐藤 勝太
 BASF ジャパン(株) 正会員 大野 誠彦
 BASF ジャパン(株) 正会員 本田 亮
 BASF ジャパン(株) 村手 三郎

1. はじめに

高炉セメントは、普通ポルトランドセメントに比べて長期強度が高く、塩化物遮蔽性能・水密性に優れるため海岸構造物や護岸消波ブロック、凍結防止剤の影響を受ける積雪寒冷地の縁石や側溝などに広く使用されている。また、高炉スラグを混合することでセメント1トン当たり発生するCO₂排出量が削減されるため温暖化防止の観点からも注目されている。しかしながら、水和速度が遅く初期強度が低いことから生産性の面で課題とされている¹⁾。

著者らは、カルシウムシリケート水和物(以下、C-S-H と記す)を有効成分とする新しい早強剤(以下、ACX と記す)を開発し²⁾、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに用いた場合のフレッシュ性状および初期硬化性状などについて報告している³⁾。

本報では、高炉セメントB種(以下、BB と記す)を使用したコンクリートに添加した場合の凝結時間および強度発現性について報告する。

2. 実験概要

使用材料とコンクリートの配合条件を表-1 および表-2 にそれぞれ示す。試験温度は20℃とし、目標スランブ 12±2.5cm、目標空気量は 2.0±0.5% になるよう、それぞれ高性能減水剤の使用量で調整した。なお、水セメント比(以下、W/C と記す)40%においては、対比として普通ポルトランドセメント(以下、N と記す)を使用した配合についても試験した。

試験項目は、スランブ(JIS A1101:2005)、空気量(JIS A1128:2005)、凝結時間(JIS A 1147:2007)および圧縮強度(JIS A 1108:2006)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。

3. 試験結果

凝結試験結果を図-2 に示す。何れの W/C においても ACX の使用量の増加に伴い、凝結時間は早くなった。W/C=40%では、ACX を 2%以上添加することで普通ポルトランドセメントよりも凝結時間が短縮された。

表-1 使用材料

種類	記号	種類	物性等
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:3.16g/cm ³
	BB	高炉セメントB種	密度:3.04g/cm ³
細骨材	S	大井川水系陸砂	表乾密度:2.59g/cm ³ , 粗粒率:2.57
粗骨材	G	青梅産硬質砂岩碎石	表乾密度:2.66g/cm ³
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
	ACX	C-S-H 系早強剤	C-S-H ナノ粒子のサスペンション

表-2 コンクリートの配合条件

スランブ (cm)	C	W/C (%)	C/W	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				混和剤 (Cx%)							
					W	C	S	G	SP	ACX						
12.0 ±2.5	BB	45.0	2.22	47.9	160	356	871	975	0.55	-						
									0.50	2.0						
									0.45	4.0						
	N	40.0	2.50	47.2	160	400	847	975	0.65	-						
									BB	46.8	160	400	834	975	0.55	-
															0.50	2.0
	BB	35.0	2.86	45.3	160	457	785	975	0.45	4.0						
									0.58							
									0.50	2.0						
									0.43	4.0						

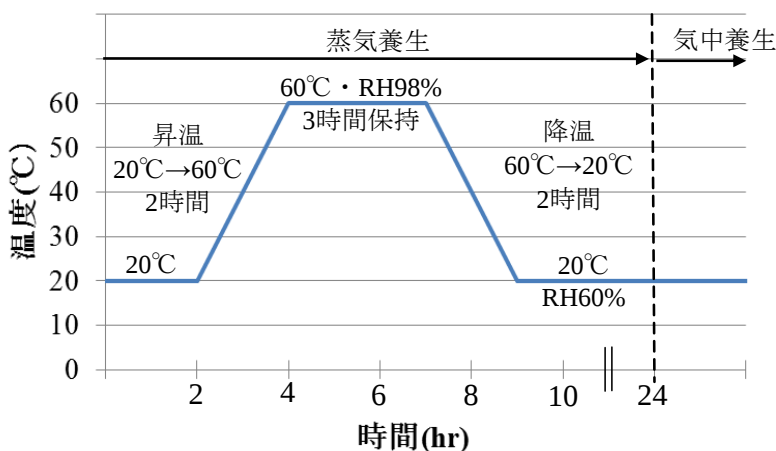


図-1 蒸気養生条件

キーワード C-S-H, 早強剤, 高炉セメント, 凝結, 圧縮強度

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

標準養生における材齢 1 日でのセメント水比（以下、C/W と記す）と圧縮強度の関係を図-3 に示す。BB に ACX を添加した場合に何れの C/W も圧縮強度は増加した。また、ACX の添加量に伴う圧縮強度の増加は、C/W が大きいほど顕著であった。なお、材齢 1 日において、BB の C/W を 2.86 とし、かつ、ACX を Cx4% 添加することで C/W=2.5 の N と同等以上の強度発現性が得られた。標準養生での材齢 28 日までの圧縮強度を図-4 に示す。BB に ACX を添加することで、無添加との強度差が材齢の増加に伴い大きくなっていることが確認できる。ここでの強度発現性はスラグの水和反応にも起因していると考えられることから、ACX の添加がスラグの反応に影響を及ぼしたものと推察される。

蒸気養生を行った場合の材齢 7 時間および材齢 14 日の C/W と圧縮強度の関係を図-5 および図-6 にそれぞれ示す。標準養生の場合と同様に BB に ACX を添加した場合のいずれも圧縮強度は増加し、C/W が高いほど ACX による強度増進効果が高い結果となった。また、C/W=2.5 において BB に ACX を Cx4% 程度添加することで N を上回る圧縮強度が得られることが確認された。蒸気養生と標準養生で N と BB の強度発現性が異なる理由としては、スラグの水和反応の温度依存性がエーライトなどのクリンカー化合物よりも高いことに起因しているものと推察される。そのため、N を BB に変更した場合、同一の C/W としても ACX を添加することで N と同等の強度が得られたものと考えられた。

4. まとめ

高炉セメント B 種を用いた条件にて、C-S-H 系早強剤を使用したコンクリートの基本特性について評価を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 高炉セメント B 種についても凝結促進および強度増進効果が確認された。
- 2) ACX を添加することによって、N より凝結時間が短縮された。
- 3) 養生条件に依らず、ACX の添加量に伴う圧縮強度の増加は、C/W が大きいほど顕著であった。
- 4) 蒸気養生した場合は初期材齢で、標準養生した場合は材齢 7 日から 28 日にかけて N と同等以上の強度増進効果が確認された。

参考文献

- 1) 壇 康弘：高炉セメントの技術史～100 年の歩み～，コンクリート工学，Vol.48，No.11，pp.3-8，2010.11
- 2) 井元 晴丈，花房 賢治，馬場 勇介，古澤 孝男：C-S-H 系早強剤の凝結・硬化促進メカニズム，土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集，pp.1099-1100，2013.9
- 3) 春日 貴行，大野 誠彦，井元 晴丈，矢口 稔：C-S-H 系早強剤を使用したコンクリートの基本性能，土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集，pp.1101-1102，2013.9

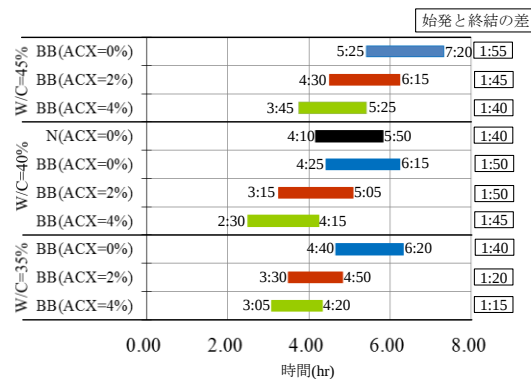


図-2 凝結試験結果

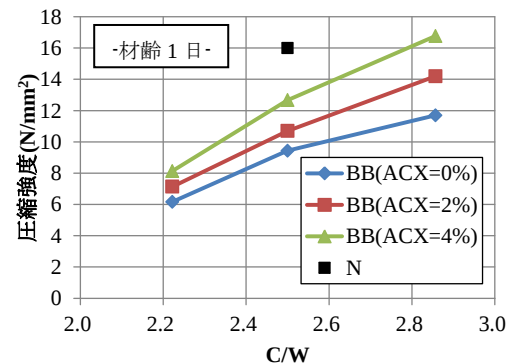


図-3 C/W と圧縮強度の関係(標準養生)

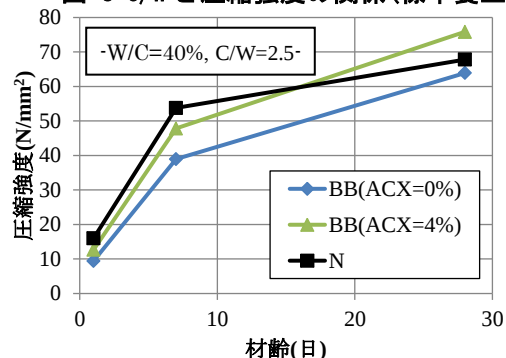


図-4 材齢と圧縮強度の関係(標準養生)

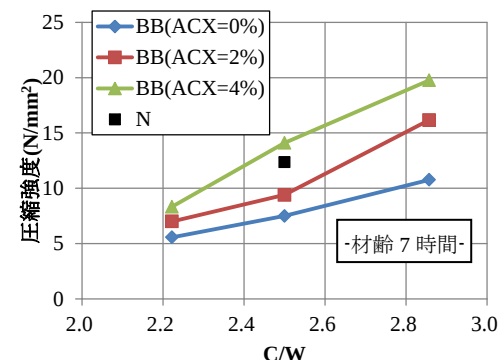


図-5 C/W と圧縮強度の関係(蒸気養生)

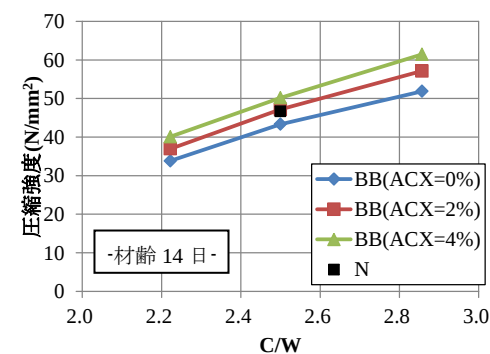


図-6 C/W と圧縮強度の関係(蒸気養生)