

C-S-H系早強剤の早強ポルトランド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 ○井元 晴丈
 BASF ジャパン(株) 正会員 小山 広光
 BASF ジャパン(株) 正会員 大野 誠彦
 BASF ジャパン(株) 正会員 佐藤 勝太

1. はじめに

近年、震災復興と関連したコンクリート製品の需要増加への対応として、コンクリートの凝結・硬化性状を促進することで製造工程の効率化につながる早強剤(材)の使用が注目されている。著者らは、C-S-H系早強剤を開発し、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの初期硬化物性への効果について既に報告している¹⁾²⁾。ここでは、蒸気養生ならびに標準養生における、早強ポルトランドセメント(HPC)を用いたコンクリートの初期硬化性状に及ぼすC-S-H系早強剤の効果について普通ポルトランドセメント(OPC)を用いた場合と比較・検討を行い、初期強度発現性について積算温度により整理した。

2. 試験概要

使用した材料を表-1に、コンクリート配合を表-2に示す。試験温度は20℃とし、目標空気量12.0±1.5cm³、空気量2.0±0.5%となるように混和剤の使用量で調整した。養生条件は、蒸気養生(最高温度60℃および40℃)と標準養生とした(図-1)。

試験項目は、スランプ(JIS A 1101:2005)、空気量(JIS A 1128:2005)、凝結時間(JIS A 1147:2007)および圧縮強度(JIS A 1108:2006)とした。

3. 結果・考察

3.1 凝結時間・圧縮強度

図-2に凝結時間を示す。HPCを使用したコンクリート(H0)の凝結は、OPCを使用したコンクリート(N0)と比較して、著しく促進はされていない。一方、HPCにC-S-H系早強剤(ACX)を添加した場合では、その添加量の増加とともに、凝結が著しく促進されている。ポルトランドセメントの凝結時間は、主要構成化合物であるエーライトの反応に依存する。HPCはOPCよりもエーライト含有量が多く粉末度が高いが、それらは凝結時間に大きく影響をおよぼさない。一方、ACXは、種結晶として作用することでエーライトの反応を促進し、凝結を著しく促進しているものと推察される。

図-3に圧縮強度測定結果を示す。いずれの養生温度においても、各材齢でHPCにACXを添加することで圧縮強度は高い値を示した。蒸気40℃養生の材齢5.5時間や標準養生の材齢6時間でのOPCおよびHPCで強度がほとんど発現していない初期材齢においても、ACXの添加により高い強度発現性が得られた。また、いずれの配合においても養生温度が高い場合、長期的に強度が伸びにくい傾向を示した。長期強度発現性は耐久

表-1 使用材目録

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	OPC	普通ポルトランドセメント (密度:3.16 g/cm ³ , 比表面積:3,350cm ² /g)
	HPC	早強ポルトランドセメント (密度:3.14 g/cm ³ , 比表面積:4,510cm ² /g)
細骨材	S	大井川水系陸砂 (表乾密度:2.59g/cm ³ , FM:2.57)
粗骨材	G	青梅産硬質砂岩砕石 表乾密度:2.66g/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 コンクリート配合

	SL (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					添加量(Cx%)			
					W	OPC	HPC	S	G	SP	ACX		
N0				45.5		457	-	796			0.75	-	
H0	12	35.0	2.0 ±0.5	45.5	160	-	457	794	975			0.75	0.0
H2	±1.5											0.70	2.0
H4												0.65	4.0

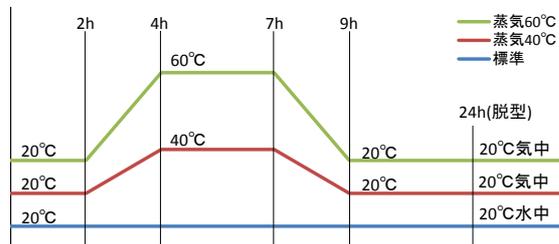


図-1 養生条件

キーワード C-S-H, 早強剤, 早強ポルトランドセメント, 強度発現性, 積算温度

連絡先 〒253-0071 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

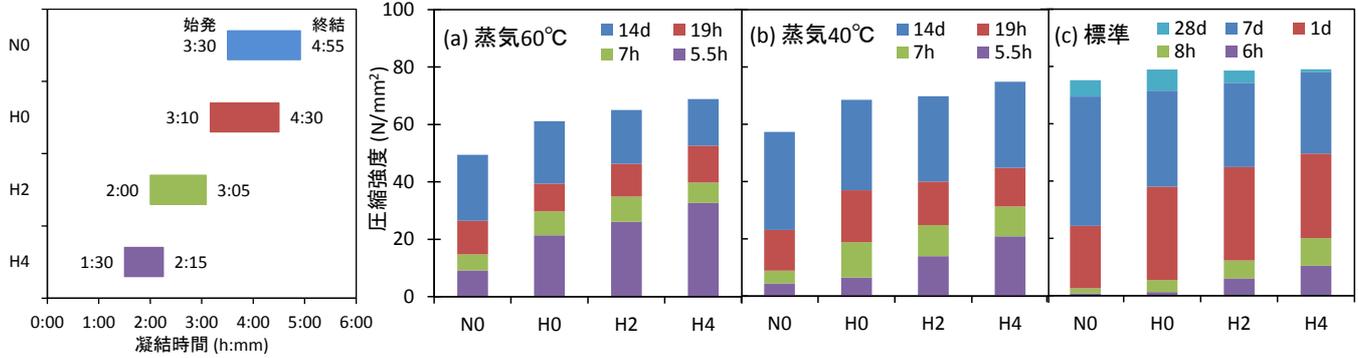


図-2 凝結時間

図-3 圧縮強度

性などと相関があると考えられることから、養生温度を低減させても初期強度を確保できる ACX の使用は、長期強度や耐久性の観点からも効果的であると言える。

3.2 積算温度を用いた初期強度発現性の整理

初期強度発現性について、積算温度により整理した。積算温度(M)は、-10°Cを基準として次式により求めた。

$$M = \sum(\theta + 10)\Delta t$$

(Δt : 時間(hours), θ :コンクリート温度(°C))

図-4 に求めた材齢24時間までの積算温度と圧縮強度との

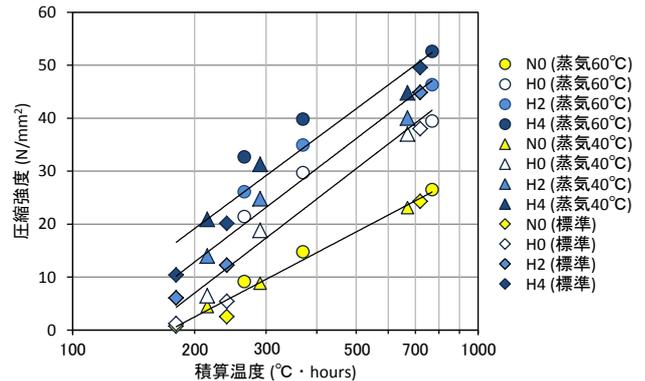


図-4 積算温度と圧縮強度の関係

の関係を示す。積算温度と圧縮強度の関係は高い相関で、以下の関数に近似された。

$$S(M) = a \log M + b \quad (a, b: \text{定数})$$

表-3 に対数近似した場合の定数 a, b と相関係数を示す。OPC と HPC は異なる定数 a, b を持つ曲線に近似されたが、HPC に ACX を添加すると、その添加量に関わらず

表-3 近似定数

	a	b	相関係数
N0	40.3	-90.191	0.9894
H0	58.9	-128.64	0.9521
H2	58.5	-121.69	0.9582
H4	56.8	-111.44	0.9536

定数 a は同等であり、定数 b は添加量の増加とともに増加した。ここで、製品工場における脱型強度を 15N/mm² と仮定して、脱型強度を得るために必要な積算温度と養生時間を一例として求めた。その結果を表-4 に示す。製品工場において2回転製造を達成するための養生時間が最大6時間と仮定すると、60°Cの蒸気養生では HPC 単独の使用で達成可能

表-4 積算温度と養生時間(15N/mm²)

	積算温度 (°C·hr)	養生時間 (h:mm)		
		蒸気 60°C	蒸気 40°C	標準
N0	409	7:33	10:18	13:38
H0	273	5:37	6:40	9:07
H2	218	4:49	5:33	7:15
H4	169	4:08	4:35	5:38

であるが、HPC に ACX を Cx2% 添加することで 40°C の蒸気養生で達成可能となり、さらには、標準養生では ACX を Cx4% 添加することで達成可能であることが試算される。養生温度の低減は、前述の長期強度発現性のみならず、エネルギーコスト低減や、温度応力ひび割れ発生リスクの低減などにつながる。このような観点から、HPC と ACX の併用による蒸気養生温度の低減や蒸気養生の削減は高品質なコンクリート製品の製造に貢献可能であると言える。

4. まとめ

C-S-H 系早強剤を、HPC を用いたコンクリートに添加すると、凝結時間を著しく促進し、さらにいずれの養生条件においても強度発現を早める。HPC と C-S-H 系早強剤の併用は、さらなる蒸気養生温度の低減や養生時間短縮を可能にする。

参考文献:

- 1) 井元晴丈他, 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, 5-550, 2013
- 2) 春日貴行他, 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, 5-551, 2013