

C-S-H 系早強剤のブリーディング抑制メカニズムに関する検討

BASF ジャパン(株) 正会員 ○馬場 勇介 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) 近藤 世紀

1. はじめに

近年、東日本大震災における被災地域での復興によるコンクリート需要の増加などに関連し、施工・製造の効率化を可能とする硬化促進剤や早強剤（材）に対する関心が高まっている．著者らは、C-S-H のナノ粒子からなる C-S-H 系早強剤（ACX）を開発し、これを使用することで、コンクリートの初期強度発現性が向上するとともに、ブリーディングを大幅に抑制できることを報告した^{1),2)}．ブリーディングの抑制は、コンクリートの欠陥となる空隙の減少、ひいては耐久性向上につながるが³⁾、そのブリーディング抑制メカニズムは明らかでない．本稿では、ACX のブリーディング抑制のメカニズムについて、セメントの水和反応および ACX の主成分であるナノ粒子の保水性能の観点から検討した．

2. 試験概要

使用材料を表-1 に示す．ACX のブリーディング抑制は、ナノ粒子の保水性能が寄与しているとの仮説のもと、対比として無機微粉末のシリカフュームを使用した．

2. 1 ブリーディング・凝結時間

ACX の添加がコンクリートのブリーディングおよび凝結性状に及ぼす影響について検討を行った．コンクリートの配合を表-2 に示す．ACX の使用量はセメント質量の 2%，4%とし、対比のシリカフュームはセメント質量に対して内割で 2%，4%置換した．試験温度は 20℃とし、コンクリートの目標スランプは 12cm，目標空気量 2.0%とし、試験項目はブリーディング試験（JIS A 1123:2012）および凝結時間試験（JIS A 1147:2007）とした．

2. 2 水和発熱速度

W/C=40%のセメントペーストについて、水和発熱速度の測定を行った．試験水準は、普通ポルトランドセメント単味のセメントペースト、普通ポルトランドセメントに ACX をセメント質量の 2%，4%添加したセメントペースト、および普通ポルトランドセメントにシリカフュームを 2%，4%内割置換したセメントペーストの 5 水準とした．反応温度は 20℃とした．なお、高性能 AE 減水剤を添加して、練混ぜ直後のペーストフロー（JASS 15 M-103）が 180±2.5mm となるように調整した．

2. 3 保水性能

2.2 と同一配合・水準のセメントペーストについて、遠心分離機による分離抵抗性評価により保水性能を評価した．練混ぜ直後、30，60 および 90 分後に、セメントペーストに遠心分離機により 928G で 10 分間遠心力を作用させて浮き水を発生させ⁴⁾、5 分後にその水量を測定した．浮き水として分離されなかったペーストの水が粉体に拘束されている水分（拘束水）と仮定し、粉体単位質量当りの拘束水量を保水率として求めた．

3. 試験結果および考察

3. 1 ブリーディング・凝結時間

図-1 にブリーディング量の測定結果を示す．ACX を添加することによりブリーディング量は著しく低減し、さらにブリーディング発生が終了する時間が早まった．なお、2%添加した場合の終了時間は 120 分、4%添加するとブリーディン

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	C	普通ポルトランドセメント 密度：3.16 g/cm ³ ，比表面積：3,370cm ² /g
シリカフューム	SF	比表面積：16.5m ² /g 二酸化ケイ素含有量：93.65%
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	青梅産硬質砂岩碎石 表乾密度：2.66g/cm ³ ，最大寸法：20mm
混和剤	SP	高性能 AE 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 カルシウムシリケート水和物（C-S-H） 粒子サイズ：数十～数百 nm 外観：乳白色液体（サスペンション）

表-2 コンクリートの配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					使用量 (C×%)	
		W	C	SF	S	G	SP	ACX
50.0	48.8	160	320	-	908	975	0.85	0
							0.75	2
							0.65	4
	48.8		313.6	6.4 (2%置換)	907		0.925	-
	48.7		307.2	12.8 (4%置換)	905		1.0	-

キーワード C-S-H, 早強剤, 水和, 促進, ブリーディング, 保水性

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 0467-59-5184

グの発生は確認されなかった。一方、シリカフュームをセメントに置換するとその置換率の増加に伴いブリーディング量は低減されたが、シリカフュームを4%置換した場合においても、ACXを2%添加した場合よりもブリーディング量は多く、また終了時間も遅かった。ACXのブリーディング抑制効果は、ACXの2倍量のシリカフュームを置換した場合よりも大きいことが確認された。図-2に凝結時間の測定結果を示す。ACXを添加することで凝結が促進された。シリカフュームを2%および4%置換した場合では凝結の促進は僅かであった。

3. 2 水和発熱速度

図-3にACXおよびシリカフュームを添加したセメントペーストの水和発熱速度曲線を示す。ACXの添加によりナノ粒子が種結晶として働き¹⁾、誘導期が短縮し、加速期への移行が早まった。また、加速期から減速期に移行する発熱速度が最大となるピークの時間が早まり、また、ピーク時の発熱速度も高くなった。一方、シリカフュームを置換した場合では誘導期の短縮はほとんど生じておらず、またC₃Sの反応に起因すると推察される第二ピークの促進も僅かであった。こうした挙動は、3.1で述べた凝結時間の試験結果と傾向が一致するものであり、シリカフュームは、C₃Sの反応を開始させる種結晶として作用しないと考えられる。なお、ACXに含まれるC-S-Hの比表面積は、シリカフュームと大きな差はないことから、種結晶としての作用は、微粒分の組成等に依存しているものと推察された。

3. 3 保水性能

図-4に保水性能評価試験結果を示す。ペーストの保水率は、ACXおよびシリカフュームの添加により、無添加の場合よりも増大した。粉体の保水量はブリーディング量と相関があることが報告されている⁵⁾。よって、ACXを添加したコンクリートのブリーディング抑制は、ナノ粒子による保水性能の向上効果によるものと推察される。保水率の経時変化は、無添加とシリカフューム置換の場合、同等の傾きでの緩やかな上昇を示しており、水和発熱速度の測定結果と対応している。一方、ACXを添加した場合の保水率の傾きは、45分までは無添加と同等であるが、45分以降は傾きが大きくなり、無添加およびシリカフュームの場合よりも著しく増大する傾向が認められた。これは、水和発熱速度の測定結果と対応しており、ACXのC₃Sの反応促進効果による誘導期の短縮に起因するものと考えられる。よって、45分以前の保水率はACXの添加による物理的な作用によるものであり、それ以降は、水和促進によるものであると推察される。

4. まとめ

C-S-H系早強剤(ACX)によるブリーディング抑制は、誘導期においてはナノ粒子による物理的な保水性能向上効果によるものであり、誘導期終了以後はセメントの水和反応の促進による効果であると推察された。

参考文献

- 1) 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, 第V部門, pp.1099-1100, 2013.9
- 2) 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, 第V部門, pp.1101-1102, 2013.9
- 3) 例えば 田澤榮一: コンクリートの欠陥とその対策, コンクリート工学, Vol.37, No.10, pp.3-10, 1999.10
- 4) 永峯秀則, 岸利治: フレッシュコンクリートの粘性に寄与する水に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.917-922, 2003.7
- 5) 庄谷征美, 杉田修一, 阿波稔, 中道礼司: 鉱物質微粉末の保水性能とその混和によるコンクリートのブリーディング抑制について, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.368-373, 1998.12

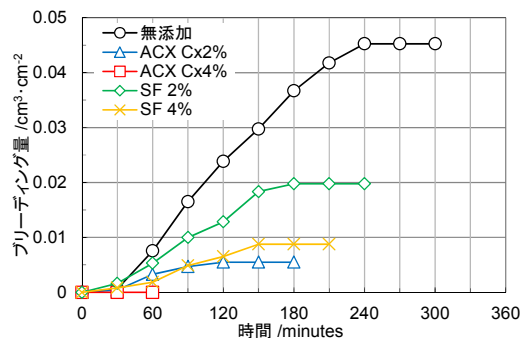


図-1 ブリーディング量測定結果

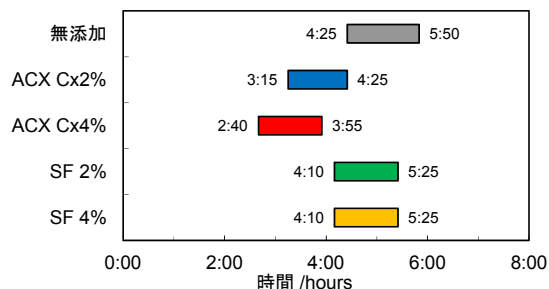


図-2 凝結時間測定結果

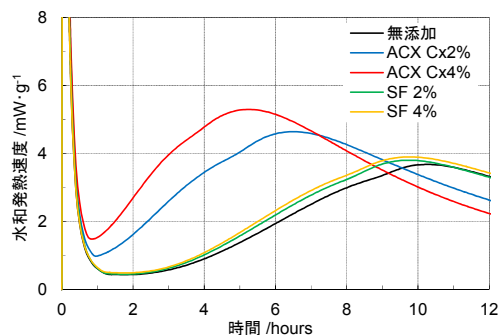


図-3 水和発熱速度測定結果

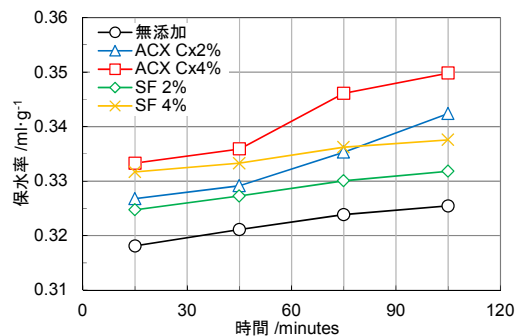


図-4 保水性能評価試験結果