

C-S-H 系早強剤の凝結・硬化促進メカニズム

BASF ジャパン(株) 正会員 ○井元 晴丈
 BASF ジャパン(株) 正会員 花房 賢治
 BASF ジャパン(株) 正会員 馬場 勇介
 BASF ジャパン(株) 古澤 孝男

1. はじめに

コンクリートの凝結・硬化性状は、コンクリートの施工工程やプレキャストコンクリート製品の製造工程に影響を及ぼす。凝結や硬化性状の促進は、工期の短縮や製造工程の効率化につながる。近年の東日本大震災における被災地域での復興需要によるコンクリートへの需要の増加に伴い、凝結や硬化性状を促進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、カルシウムシリケート水和物（以下、C-S-H と記す）のナノ粒子のサスペンションからなる新しい液状の早強剤（以下、C-S-H 系早強剤）を開発した¹⁾。ここでは、C-S-H 系早強剤によるセメントの水和反応促進とそのメカニズム、コンクリートの初期硬化物性に対する効果について報告する。

2. C-S-H 系早強剤について

C-S-H 系早強剤は、C-S-H のナノ粒子（粒子サイズ：数十～数百 nm）を主成分とするサスペンションである。表-1 に C-S-H 系早強剤の成分と基本物性を示す。

表-1 成分と物性

成分	C-S-H ナノ粒子のサスペンション
外観	白色の液体
pH	11 程度

3. セメントの水和反応促進メカニズム

セメントの反応は発熱を伴うため、セメントの反応の追跡に水和反応速度曲線が一般的に用いられる。C-S-H 系早強剤がセメントの初期水和反応に及ぼす影響を確認するため、C-S-H 系早強剤を普通ポルトランドセメントに添加したセメントペーストの水和発熱速度の測定を行った。なお、セメントペーストの水セメント比(W/C)は 50.0%，反応温度は 20.0℃とした。水和発熱速度の測定結果を図-1 に示す。

C-S-H 系早強剤を添加することにより、無添加の場合の 1~2 時間で反応の停滞している誘導期が短縮し、その後の発熱速度が加速的に高まる加速期への移行が早まっている。また、C-S-H 系早強剤の添加により、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ている。このピークはポルトランドセメントの主要構成化合物のうち最も多く含まれる C_3S の反応によるものである。よって、C-S-H 系早強剤の添加によって、 C_3S の初期水和反応が促進されるといえる。なお、一般にポルトランドセメントを用いたコンクリートの凝結や初期強度発現性は C_3S の反応に起因する。

C-S-H 系早強剤の水和促進メカニズムについて以下に考察を行う。 C_3S の反応が停滞する誘導期は、溶液中のイオン濃度が結晶核生成な十分な値になるまでの期間であり、ほかの化学反応でもよくみられる核生成律速であると言われている²⁾。C-S-H 系早強剤をコンクリートに添加すると、C-S-H のナノ粒子が液相に導入される。このナノ粒子は、水和物が生成するための核、すなわち種結晶として働くと考えられる。その結果、セメ

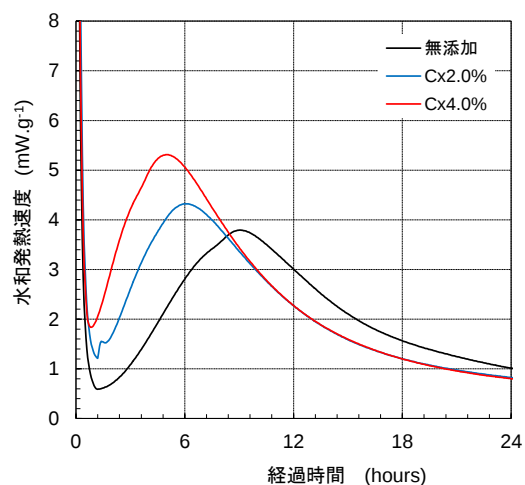


図-1 C-S-H 系早強剤を添加した普通ポルトランドセメントの水和発熱速度

キーワード カルシウムシリケート水和物、早強剤、水和、促進、凝結、圧縮強度

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

ントからのイオン溶出による核生成を待たずに種結晶からの結晶成長が可能となり、誘導期から加速期への移行を早めているものと推察される。また、セメントの反応は粒子表面で進行し、表面上に水和物を生成しながら反応が進行する。この表面に生成する水和物はセメント粒子からのイオンの拡散を阻害する。C-S-H 系早強剤を添加すると、C-S-H の種結晶で水和物が成長することで拡散阻害の原因となるセメント粒子表面に生成する水和物層の厚さが薄くなると考えられる(図-2)。その結果、イオンの拡散が促進されることでセメントの初期水和反応が促進されるものと推察される。

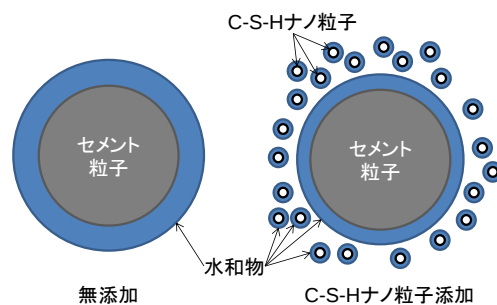


図-2 C-S-H ナノ粒子によるセメント粒子表面の水和物層の厚さの低減の模式図

4. コンクリートの凝結および初期強度発現性への効果

4.1 試験概要

C-S-H 系早強剤のコンクリートの凝結・硬化物性への効果についてコンクリート試験により確認を行った。表-2 に試験配合を示す。コンクリートは、20℃で練混ぜた。評価項目は、凝結時間（JIS A 1147:2007）、圧縮強度（JIS A 1107:2012）とした。

表-2 コンクリート配合

スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤添加量 (Cx%)	
				水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能減水剤	C-S-H 系早強剤
12±1.5	4.5±0.5	40.0	44.5	160	400	770	987	0.80	0.0
								0.70	2.0
								0.60	4.0

表注(使用材料) 水:上水道水, セメント:普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³), 細骨材:大井川水系陸砂(密度 2.59g/cm³, 粗粒率 2.57), 粗骨材:東京都青梅産硬質砂岩碎石(密度 2.66g/cm³, 最大寸法 20mm), 高性能減水剤:ポリカルボン酸エーテル系化合物

4.2 試験結果

図-3 に凝結時間を示す。C-S-H 系早強剤を添加することで凝結の始発時間、終結時間がともに短縮され、C-S-H 系早強剤の添加量の増加とともに短縮割合は大きくなっている。また、始発から終結までの時間も C-S-H 系早強剤の添加量の増加とともに短縮される傾向を示している。このように、C-S-H 系早強剤の添加によりコンクリートの凝結が促進される。

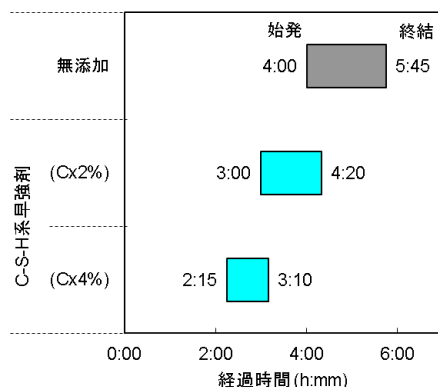


図-3 凝結時間

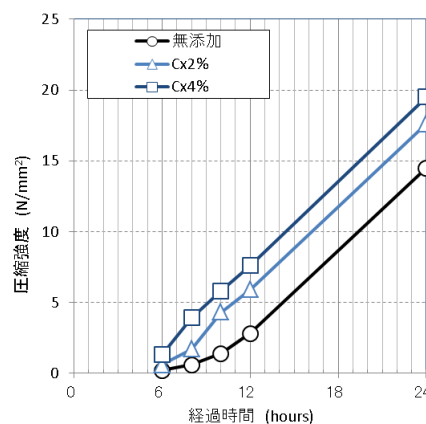


図-4 圧縮強度

図-4 に圧縮強度の測定結果を示す。C-S-H 系早強剤の添加によりコンクリートの強度発現性が向上されていることが確認された。

5. まとめ

C-S-H ナノ粒子のサスペンションである C-S-H 系早強剤は、C-S-H の種結晶を液相に導入することで C₃S の初期水和反応を促進する。C-S-H 系早強剤をコンクリートに添加することでコンクリートの凝結が促進され、初期強度発現性が向上されることを確認した。

参考文献:

- 1) Imoto, H., et al., Effect of Calcium Silicate Hydrates Type Accelerator on the Hydration and the Early Strength Development of Concrete Cured at 20 and 5 Degrees Centigrade, SCMT3, Kyoto (2013) (投稿中)
- 2) 大門正機編訳, JME 材料科学セメントの科学, 内田老鶴圃, pp48-51(1989)