C-S-H 系早強剤を用いた早強コンクリートの断熱温度上昇特性

BASF ジャパン(株)　正会員　○小泉　信一
BASF ジャパン(株)　正会員　井元　晴丈
BASF ジャパン(株)　正会員　大野　誠彦
BASF ジャパン(株)　正会員　土谷　正

１．はじめに

近年，コンクリートの生産性の向上を目的として，凝結・硬化を促進してコンクリート工事の省力化，合理化を図る検討が進められており，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のナノ粒子を主成分とする液状早強剤（以下，C-S-H 系早強剤と記す）を開発し[1)]，既報にて各種セメントを用いたコンクリートの凝結促進・初期強度増進効果，ブリーディングの低減効果ならびに耐久性の改善効果等を報告している[1)~3)]．ここで，セメントの水和反応は発熱を伴うが，C-S-H 系早強剤をポルトランドセメントに用いた場合には水和反応の促進によってポルトランドセメントの発熱が早くなることを報告している[1)]．一方，プレストレストコンクリート構造物の施工等においては部材断面の急変部やマスコン部に温度ひび割れが発生する懸念があるため，部材内部温度変化や温度ひび割れの発生を予測する断熱温度上昇特性を用いた解析が行われている．

そこで本研究では，プレストレストコンクリートに用いられる早強コンクリートを対象として C-S-H 系早強剤を用いた場合の断熱温度上昇特性について検討を行った．

２．試験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を**表-1** に，コンクリートの配合を**表-2** に示す．試験温度は 20℃とし，目標スランプ：12±1.5 cm，目標空気量：4.5±0.5 %が得られるように高性能減水剤の使用量で調整した．

表-1　使用材料

種別	記号	種類
セメント	C	早強ポルトランドセメント (密度: 3.14 g/cm^3)
細骨材	S	大井川水系陸砂 (表乾密度: 2.58 g/cm^3)
粗骨材	G	青梅産硬質砂岩砕石 2005 (表乾密度: 2.65 g/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)
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)

2.2 試験方法

フレッシュコンクリートは，スランプ（JIS A 1101），空気量（JIS A 1128）およびコンクリート温度（JIS A 1156）により評価した．硬化体の圧縮強度は，JIS A1108 により評価した．なお，養生方法は，20℃で材齢 1 日まで封かん養生を行った後，20℃水中養生を材齢 7 日，28 日まで行った．断熱温度上昇試験は，断熱温度上昇試験装置を用いて材齢 7 日まで行った．終局断熱温度上昇量 K および実験定数 α，β は，式(1), (2)を用いて最小二乗法により近似して求めた．

$$Q(t) = K[1 - exp(-\alpha t)] \quad (1)$$

$$Q(t) = K\left[1 - exp\left(-\alpha t^{\beta}\right)\right] \quad (2)$$

ここに，Q(t)：材齢 t 日までの断熱温度上昇量（℃），t：材齢（日）
K：終局断熱温度上昇量（℃），α, β：実験定数

表-2　コンクリートの配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3) W	C	S	G	使用量 (C×%) SP	ACX	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
1	37.5	44.0	150	400	769	1007	0.70	0	12.5	4.9	20
2							0.60	2	12.5	4.2	21
3							0.35	4	13.5	4.1	20

３．試験結果

圧縮強度測定結果を**図-1** に示す．C-S-H 系早強剤の添加により初期強度が増進し，使用量 C×1%あたりの効果は，

キーワード　C-S-H 系早強剤，早強ポルトランドセメント，断熱温度上昇，圧縮強度
連絡先　〒253-0071　神奈川県茅ケ崎市萩園 2722　BASF ジャパン(株)　建設化学品事業部　ＴＥＬ0467-59-5182

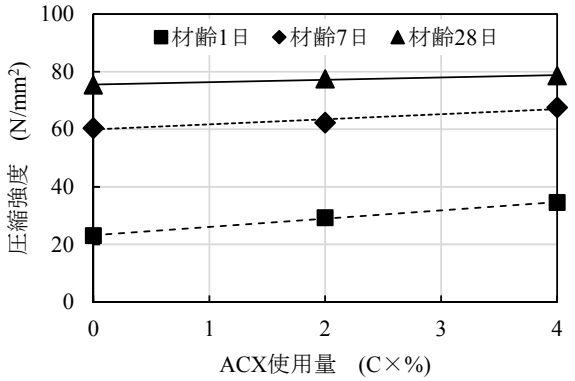

図-1 ACX 使用量と圧縮強度の関係

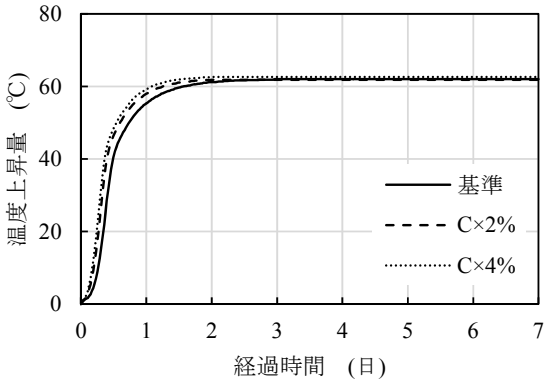

図-2 断熱温度上昇試験結果

材齢 1 日強度で約 3N/mm², 材齢 28 日強度で約 1N/mm² であった.

断熱温度上昇試験の測定結果を**図-2** 示す. 温度上昇の立ち上がりは，C-S-H 系早強剤の使用量の増加に伴い早くなっており，カロリーメータで測定した水和発熱速度の位置付け [2] と同様であった．その後，材齢 2 日以降では，いずれの添加量においても，温度上昇量は変化せず一定となり，C-S-H 系早強剤の添加の有無にかかわらず約 62℃に収束した. すなわち，C-S-H 系早強剤の添加は，温度上昇の立ち上がり時間を早めるが, 最高到達温度には影響を及ぼさないことが明らかとなった.

次に，断熱温度上昇試験結果を式(1), (2)で近似した。得られた回帰線を**図-3**, 4 に，断熱温度上昇特性の回帰結果を**表-3** に示す．終局断熱温度上昇量は，C-S-H 系早強剤の添加に関わらず同等の値を示し, 前述の最高到達温度と同じ傾向であった.

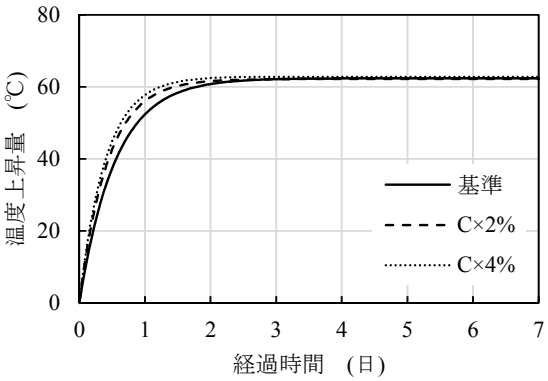

図-3 式(1)による回帰曲線

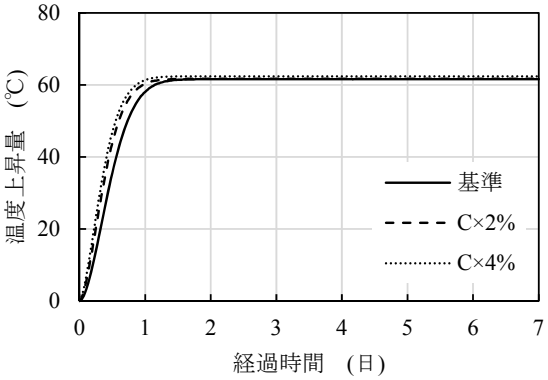

図-4 式(2)による回帰曲線

4．まとめ

C-S-H 系早強剤が早強コンクリートの断熱温度上昇特性に及ぼす影響について検討を行った。得られた知見を以下に示す.

1) C-S-H 系早強剤の添加により圧縮強度は増加した.
2) C-S-H 系早強剤は温度上昇の立ち上がり時間を早めるが, 最高到達温度への影響は認められなかった.
3) 断熱温度上昇の特性をパラメーターとして示した.

表-3 回帰結果

ACX (C×%)	式(1)			式(2)			
	K	α	R	K	α	β	R
0	62.4	1.831	0.983	61.6	2.866	1.737	0.995
2	62.2	2.312	0.986	61.7	3.832	1.629	0.996
4	62.9	2.512	0.988	62.4	4.100	1.559	0.996

参考文献

1) 井元晴丈ほか：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，pp.2248-2253，2014
2) 小泉信一ほか：C-S-H 系早強剤を用いたコンクリートの強度発現性および耐久性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，pp.154-159，2014
3) 小山広光ほか：C-S-H ナノ粒子を含有する早強剤の特性と効果について，コンクリート工学，Vol.53，No.7，pp.614-621，2015