

C-S-H 系早強剤を添加したセメントペーストの水和発熱速度に及ぼす温度の影響

東海大学大学院 学生会員 ○佐々木 駿
 BASF ジャパン 正会員 小山 広光
 東海大学 上村 将吾
 東海大学 正会員 伊達 重之

1. はじめに

プレキャストコンクリート製品の生産性を向上させる手段として、C-S-H 系早強剤（以下、C-S-H 系と称す）の使用による凝結時間の短縮および強度の促進が有効であり¹⁾。早強剤を用いた蒸気養生コンクリートの初期水和反応メカニズムを把握することは重要であると考えられる。本研究では、蒸気養生コンクリートの初期強度発現性に影響を及ぼす要因の把握を目的として、早強剤を添加したセメントペーストの水和発熱速度に及ぼす温度の影響について確認した。

2. 実験概要

初期水和反応時における、反応温度が水和発熱速度におよぼす影響を確認するため、異なる反応温度においてコンダクションカロリメータによる水和発熱速度の測定を行った。表-1 に実験に使用した材料を示す。実験には W/C=50%のセメントペーストに混和剤（高性能減水剤）を添加したものを使用し、混和剤の添加率は何れの条件においても C×0.5%で一定とした。セメントは早強ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントを使用し、早強剤として C-S-H 系および亜硝酸系早強剤（以下、亜硝酸系と称す）を使用し、早強剤の添加量は何れも C×2%とした。測定は温度 50℃、40℃、および 20℃とし、無添加の場合を対比として C-S-H 系および亜硝酸系を添加した場合についてそれぞれ実施した。

表-1 使用材料

材料	種類および物理的性質
セメント	早強ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm ³)
	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³)
混和剤	高性能減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系化合物)
	C-S-H 系早強剤 (C-S-H 粒子のナノサスペンション)
	亜硝酸系早強剤

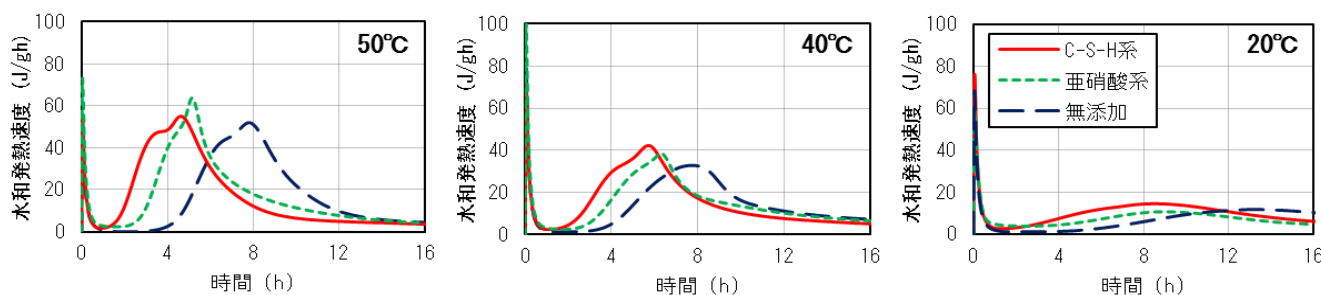


図-1 水和発熱速度曲線（普通セメント）

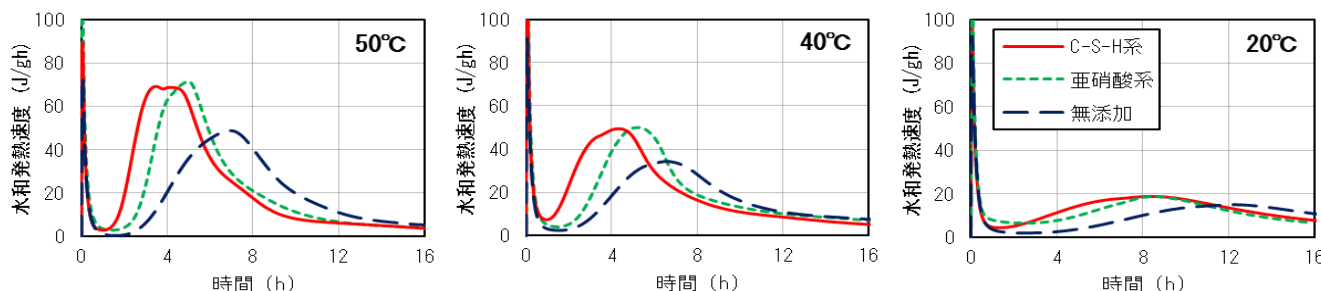


図-2 水和発熱速度曲線（早強セメント）

キーワード：カルシウムシリケート水和物，反応温度，早強剤，水和反応

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学工学部土木工学科 TEL. 0463-58-1211 FAX. 0463-50-2045

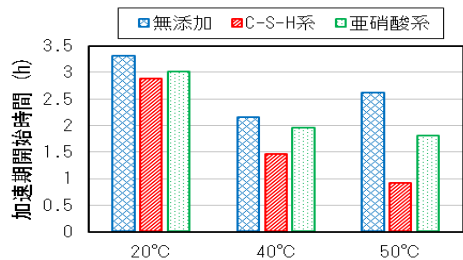


図-3 加速期開始時間（普通セメント）

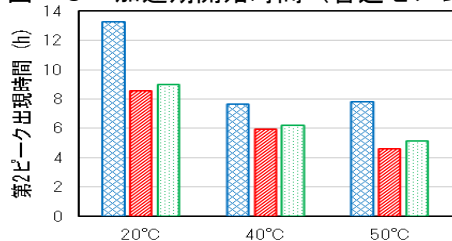


図-5 第2ピーク出現時間（普通セメント）

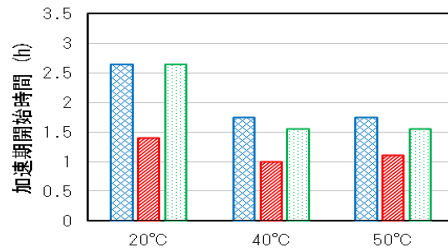


図-4 加速期開始時間（早強セメント）

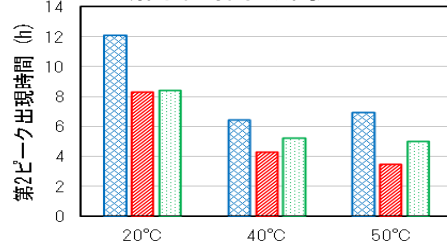


図-6 第2ピーク出現時間（早強セメント）

3. 実験結果

3.1 水和発熱速度曲線

図-1 に普通セメントの水和発熱速度曲線を示す。これまでの知見と同様²⁾，反応温度が高い場合においても早強剤の添加により誘導期および第2ピーク出現時間が短縮し，ピークの値も大きくなっており²⁾，反応温度が高いほどその傾向が顕著になる事が確認された。また，何れの反応温度においても C-S-H 系を使用した場合は，亜硝酸系を使用した場合と比べ，第2ピークの水和発熱速度の値は同程度であるものの，誘導期および第2ピーク出現時間の短縮効果は高い傾向にあった。図-2 に早強セメントの水和発熱速度曲線を示す。普通セメントと比較すると，早強剤を添加した場合の水和発熱速度曲線の第2ピークの無添加との差は大きく，反応温度が高いほど大きい，傾向にあった。

3.2 加速期開始時間および第2ピーク到達時間

図-1，2 の水和発熱速度曲線から，加速期が開始した時間（加速期開始時間）および第2ピーク出現時間について，それぞれの条件においてまとめたものを図-3～6に示す。図-3に普通セメントを使用した場合における加速期開始時間を示す。C-S-H 系を添加することにより，無添加に比べ20℃で約0.4時間，40℃で約0.7時間，50℃で約1.7時間短縮されることが確認され，亜硝酸系を添加した場合よりも短縮時間は大きくなった。図-4に早強セメントを使用した場合の加速期開始時間を示す。C-S-H 系を添加した場合の無添加に対する短縮時間は，20℃で約1.2時間，40℃で約0.7時間，50℃で約0.6時間であり，普通セメントと比較すると反応温度によって短縮効果が異なる結果となった。

図-5，6に第2ピーク出現時間を示す。普通セメントに C-S-H 系を添加した場合の水和発熱曲線の第2ピーク出現時間は，無添加と比べ20℃において約5時間，40℃で約1.8時間，50℃で約3.2時間の短縮された。早強セメントに C-S-H 系を添加した場合の無添加に対する短縮時間は，20℃において約4時間，40℃で約2時間，50℃で約3.5時間であった。この発熱速度のピークはセメント中の C_3S の水和発熱反応に起因するものであり³⁾，何れの反応温度においても C-S-H 系の添加による C_3S の水和促進効果は亜硝酸系よりも高いと考えられる。

4. まとめ

(1) セメントの水和発熱速度曲線において，反応温度 40℃および 50℃の場合においても，早強剤の添加により誘導期および第2ピーク出現時間が短縮される。

(2) C-S-H 系早強剤の方が亜硝酸系よりも，誘導期および第2ピーク出現時間の短縮効果は高く，セメント種類および反応温度によってその効果は異なる。

参考文献 1) 春日貴行ほか：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，pp. 1101-1102, 2013. 9 2) 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, No. 1, pp. 2248-2253, 2014. 7 3) 新井康夫：セメントの材料科学，大日本図書，pp. 189-192, 1984