

論文 コンクリートの初期強度に及ぼす早強剤の影響

東海大学 学生会員 ○佐々木 駿

東海大学 梅藤 靖信

BASF ジャパン株式会社 茅ヶ崎技術開発センター 正会員 小山 広光

東海大学 正会員 伊達 重之

1. はじめに

現在のプレキャストコンクリート工場におけるプレキャスト製品の製造において、生産性の向上、コスト削減のために脱型時間の短縮をすることが求められている。プレキャストコンクリートの効率的な生産のためには促進養生（蒸気養生）は不可欠であり、これまでに蒸気養生を施したコンクリート（以下、蒸気養生コンクリートと称す）の初期強度に関する研究¹⁾は行われているものの、強度発現性を支配している要因の特定およびメカニズムの解明には至っていない。

また、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）の併用による凝結および強度の促進は有効であることが確認されている²⁾。生産性向上だけでなく、耐久性の確保、および環境負荷低減といった観点からも、促進剤を用いた蒸気養生コンクリートの初期強度発現性を把握することは重要であると考えられる。本研究は、プレキャストコンクリートの生産性向上の観点から、蒸気養生コンクリートの初期強度発現性に及ぼす各種要因の影響を検討した。

2. 実験概要

実験は、一般的なプレキャストコンクリート製品の蒸気養生を想定した蒸気養生コンクリートの強度発現性を確認した。表-1および2には実験で使用した材料、配合条件、養生条件を示す。本実験はモルタルにて試験を行い、高性能減水剤にて所定の流動性を確保した。早強剤を併用する場合は、高性能減水剤の使用量を一定とし、早強剤が強度発現性に及ぼす影響について確認した。

試験項目はフレッシュ性状確認、圧縮強度試験をJIS R 5012に準拠して行った。水和発熱速度試験は高温時におけるセメントの初期水和反応におよぼす影響を確認するため、環境温度40℃および20℃において、モルタルと同様の混和剤および早強剤を使用したセメントペーストの水和反応速度を測定した。凝結試験はJIS A 1147に準拠し、環境温度は20℃環境で所定の時間（1.5時間、2.5時間）前置をした後、45℃環境にて貫入抵抗値を測定した。対比として、20℃一定環境についても併せて測定を行った。

3. 実験結果

図-1に水和発熱速度の測定結果を示す。これまでの知見と同様に、40℃の高温環境下においても早強剤を併用することにより、無添加に比べ誘導期の短縮、加速期への移行、およびピークへの到達時間が早くなることを確認した。また、20℃環境と比べ水和反応速度は大幅に上昇し、亜硝酸系よりもC-S-H系の方がより水和反応促進効果が高く、無添加の場合で水和反応開始から約6時間でピークに到達し、無添加よりもC-S-H系で約2時間、亜硝酸系で約1時間早くなった。

本研究で用いた供試体の寸法が小さいため槽内温度とモルタル温度の差が小さいと考えられ、本研究においては
キーワード 早強剤, 蒸気養生, 初期材齢, 水和熱, 積算温度

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

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)
細骨材	大井川水系陸砂(密度2.58g/cm ³ , 粗粒率2.57)
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, 粒子サイズ数百~数千ナノメートル)
	亜硝酸系早強剤

表-2 配合・養生条件

W/C=40%で一定	
項目	パラメータ
早強剤	無添加, C-S-H系(C×2, 4%), 亜硝酸系(C×2%)
養生条件	[条件1] 前置: 20℃/2.0h→昇温: 22.5℃/h・2.0h →最高温度: 65℃・1.0h→降温: 10℃/h
	[条件2] 前置: 20℃/1.0h→昇温: 20℃/h・1.5h →最高温度: 50℃・4.0h→降温: 10℃/h
	[条件2] 前置: 20℃/2.0h→昇温: 22.5℃/h・1.0h →最高温度: 45℃・5.5h→降温: 10℃/h

積算温度については設定温度で整理することとした。図-2に養生時間と圧縮強度の関係を示す。蒸気養生コンクリートにおいてC-S-H系を併用した場合、無添加よりも強度発現性は高く、同一時間における圧縮強度はC-S-H系をC×2%併用した場合で5~10N/mm²程度、C×4%併用した場合で10~20N/mm²程度高くなり、材齢が早いほど強度促進効果は高くなる傾向にあった。これは、脱型強度時間短縮の観点から、無添加の場合よりもC×2%併用で0.5~1.5時間、C×4%併用で1.0~2.0時間短縮が可能であると考えられる。また、C-S-H系は養生条件3(最高温度40℃)で無添加の養生条件2(最高温度50℃)と、養生条件2で無添加の養生条件1(最高温度60℃)と同程度以上の強度発現性であり、C-S-H系を併用することにより養生温度低減が可能であると考えられる。

亜硝酸系を併用した場合の圧縮強度は、養生条件3においてはC-S-H系と同程度であるが、養生条件1と2においてはC-S-H系より低く、養生条件1と2の圧縮強度はほぼ同等で、5時間以降においては養生条件1の無添加ともほぼ同等であった。

図-3に積算温度と圧縮強度の関係を示す。早強剤を用いることにより、同一積算温度の圧縮強度は高い側にシフトし、積算温度が小さい方がその差は大きくなる傾向にあった。無添加および何れの早強剤の条件においても、積算温度と圧縮強度は高い相関関係が認められ、同一の積算温度においては最高温度が高いほど圧縮強度が大きくなる傾向にあった。C-S-H系は添加量が多い方が相関性は低く、亜硝酸系はC-S-H系よりも高い相関関係にあった。C-S-H系は蒸気養生条件の違いによる影響を大きく受け、亜硝酸系は養生条件の影響が小さく、ある温度で強度促進効果が頭打ちになっていると考えられる。

4. まとめ

蒸気養生コンクリートにおいてC-S-H系早強剤を添加することにより早強効果があることが確認できた。それによりプレキャストコンクリート工場、脱型時間の短縮、あるいは蒸気養生温度の低減を図ることが可能である。また、蒸気養生コンクリートは最高温度の影響を受けやすく、同じ積算温度でも最高温度が高いほうが圧縮強度は大きくなることが確認できた。

参考文献

- 1) 森本博昭ほか：蒸気養生中のコンクリートおよび弾性係数に関する実験，セメント・コンクリート論文集，No.50, pp.922-925, 1996
- 2) 小泉信一，井元晴丈，馬場勇介，山崎遥平：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, No.1, pp.154-159, 2014.7

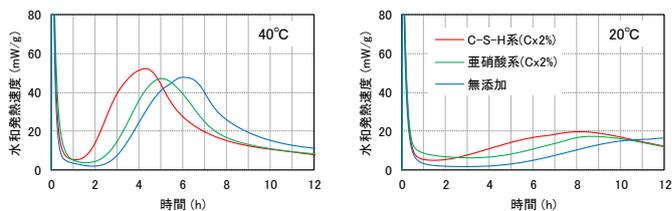


図-1 水和発熱反応

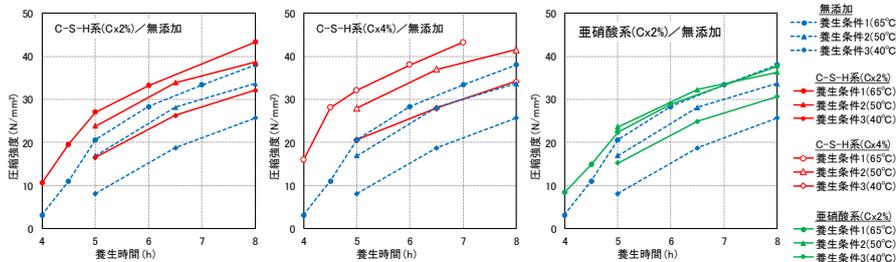


図-2 養生時間と圧縮強度の関係

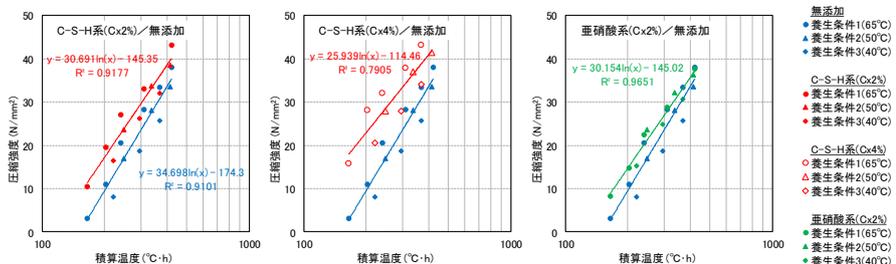


図-3 積算温度と圧縮強度の関係