論文　早強剤を用いたコンクリートの初期強度に及ぼす養生条件の影響

東海大学　上村　将吾
東海大学　鈴木　健奨
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

プレキャストコンクリート製品は，部材を工場で製造するため品質の変動が少なく，工場で部材の大半を製造することより建設現場での作業時間短縮を図ることが可能であり,コンクリート構造物の品質および耐久性を確保し，省力化を行うことが可能であると考えられる.

プレキャストコンクリートにおいて一定の品質を確保し効率的な生産を検討するためには，製品の製造に必要な強度を確保するための配（調）合選定および養生を行う必要があり，とりわけ型枠を 1 日の製造で 2 回以上使用するなど，脱型時間が製造工程に占める要因割合が多い場合においては，初期材齢時の強度発現性に及ぼす各種要因の影響を把握することが有効である。また，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．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確認し，脱型強度推定について検討を行った.

2.実験概要

実験は，まず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の確認を行い，次に各養生条件（前置時間，最高温度）および配合条件（水セント比）の違いによる強度発現性に及ぼす影響の確認を行った.

2.1 使用材料および配合

表－1 および 2 に実験に使用した材料および配（調）合条件を示す。実験には，セメントは早強ポルトランドセメント，細骨材は陸砂，混和剤は高性能減水剤を用い，早強剤として C-S-H 系早強剤および亜硝酸系早強剤（以下，亜硝酸系と称す）を使用した。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（0 打フロー：120㎜ 程度，15 打フロー：200㎜ 程度）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.

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nm）
	亜硝酸系早強剤

表－1　使用材料

項目	パラメータ
早強剤	無添加，C-S-H系(Cx2%)
W/C	30%，40%，50%
前置時間	0.5h，1.5h，2.5h （前置時の温度は20℃）
最高温度	65℃，55℃，45℃，35℃，20℃（一定）

表－2 配合・養生条件

2.2 養生条件

コンクリートの養生は，恒温恒湿槽を用いて温度・湿度を制御し，蒸気養生を模擬した。前置時間および最高温

キーワード　C-S-H 系早強剤，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

度の影響を確認するため，供試体を作製直後から 20℃環境下で前置した後，予め一定温度に設定した恒温恒湿槽に供試体を移動し，所定の時間まで蒸気養生を行った（表－2 を参照）．なお，恒温恒湿槽内の相対湿度は何れも 98%に設定し，供試体打設面からの水分逸散を防ぐためフィルム等で覆った状態で温度履歴を与えた．

2.3 測定項目

(1) フレッシュ性状確認

フレッシュ性状は，JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」のフローテーブルを用いて，0 打および 15 打のモルタルフロー値を測定した．

(2) 圧縮強度試験

JIS R 5201 のモルタル供試体形成用型を用いて，40mm×40mm×160mm の供試体を作製した。供試体は型枠に打設後，所定の養生を行い，任意の時間に型枠から脱型して圧縮強度を測定した．試験は 1 体の供試体につき 3 か所において，切片圧縮強度を測定した．

また，養生温度とモルタル温度の差を確認するため，一部の供試体について，熱電対を用いてモルタル温度および恒温恒湿槽内の温度を測定した．

(3) 水和発熱速度測定

高温時におけるセメントの初期水和反応に及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．

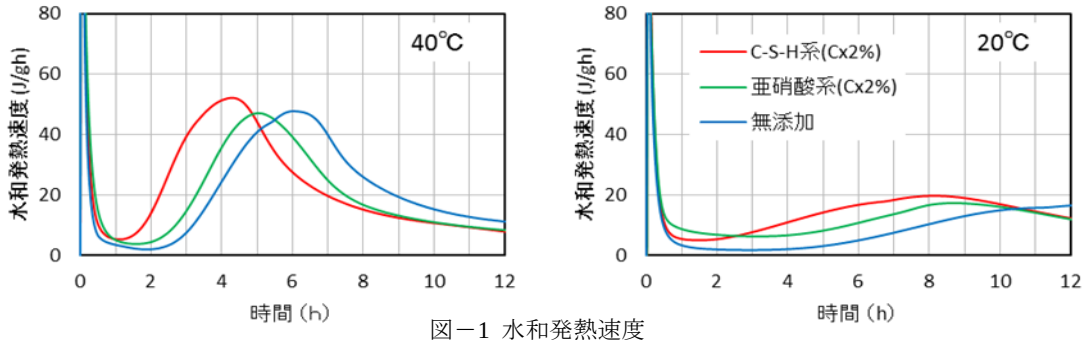
(4) 凝結試験

JIS A 1147 の凝結試験方法に準拠し，環境温度は 20℃環境で所定の時間（1.5，2.5 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.試験結果

3.1 水和発熱速度

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．



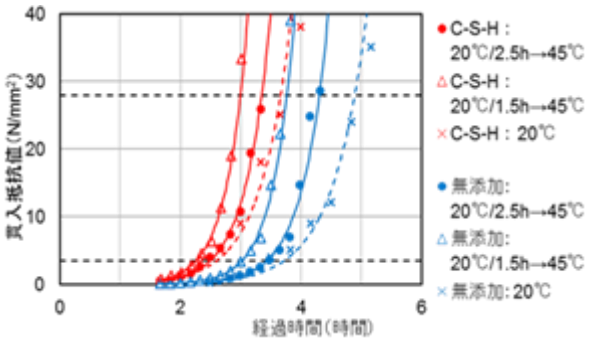
図－1 水和発熱速度

3.3 蒸気養生条件が初期強度発現性に及ぼす影響の確認

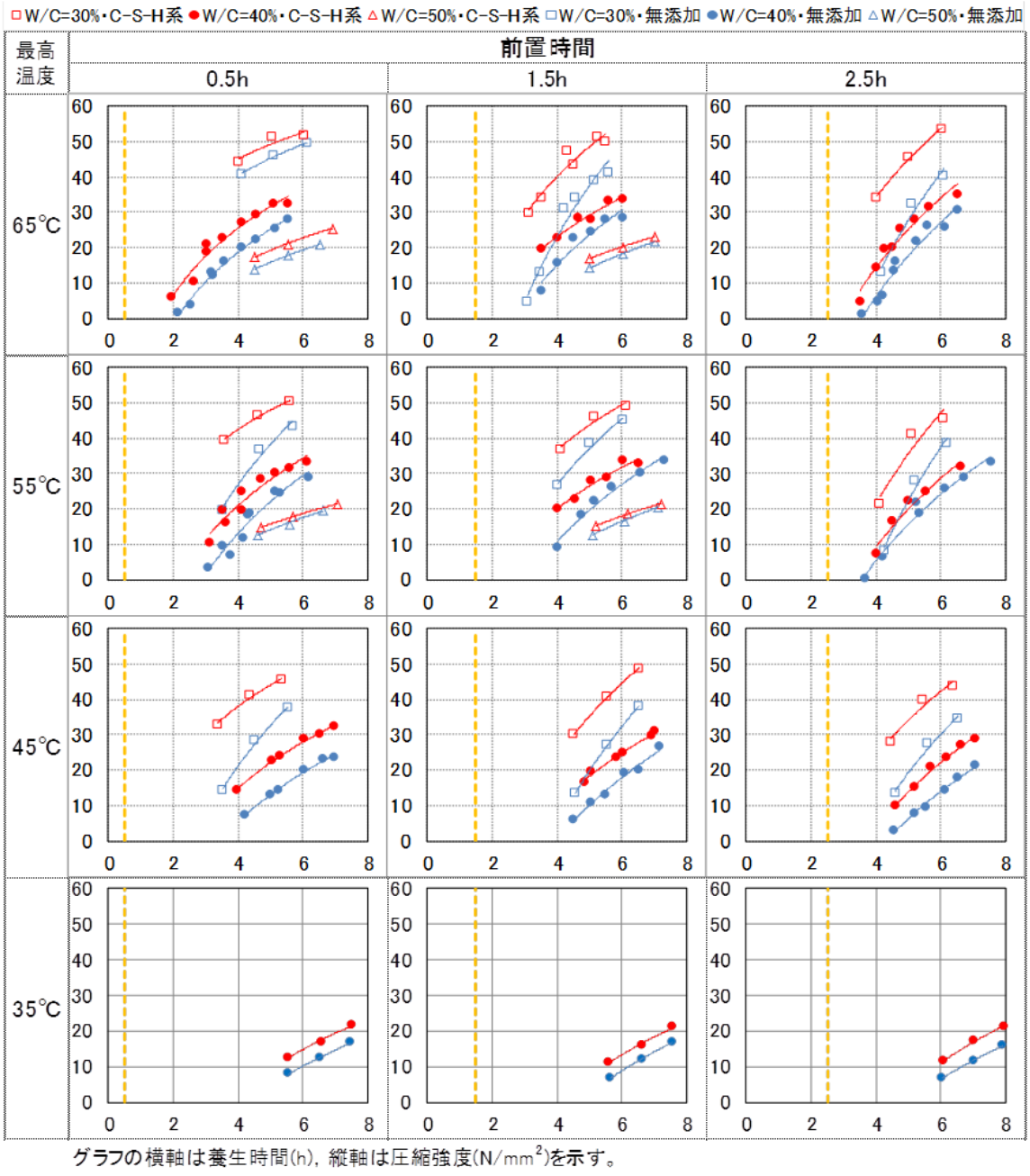
積算温度と圧縮強度の関係について確認するため，前置時間と最高温度をパラメータ（表－2 参照）として，蒸気養生条件が材齢初期の圧縮強度発現性に及ぼす影響を確認した．

図－2 に凝結試験における経過時間と貫入抵抗値を示す。何れの前置時間の違いにより貫入抵抗値は大きく影響を受け，時間が結果するほど抵抗値の差は大きくなった．また，C-S-H 系早強剤を併用することにより，始発以前の早い時間から貫入抵抗値は大きくなった．これは，図－1 に示す水和発熱速度の結果とも合致しており，C-S-H 系早強剤は極めて初期から水和反応促進効果を生じ，蒸気養生コンクリートにおける材齢初期の強度発現性向上に有効であると考えられる．

図－３に養生時間と圧縮強度の関係を示す。いずれの条件においても，養生温度が高く前置時間が短いほど，同一養生時間における圧縮強度は高くなった。W/C=30%においては何れの最高温度においても無添加よりも大幅に圧縮強度が促進され，W/C=50%においてはいずれも無添加と同程度の強度であった．よって，蒸気養生コンクリートにおける C-S-H 系早強剤の初期強度促進効果は，水セメント比が高いほどその効果が高いと考えられる．



図－2 経過時間と貫入抵抗値の関係（W/C=40%）



図－3 養生時間と圧縮強度の関係

また，前置時間が長いほど近似曲線の勾配は大きくなる傾向にあり，前置時間がその後の強度発現性に影響を及ぼすことが示唆された．

上記の結果から，蒸気養生コンクリートの初期強度発現性には，前置時間の影響よりも最高温度の影響が大きく，同一の最高温度においては，積算温度と圧縮強度の相関関係は非常に高いと言える．

5.まとめ

(1)蒸気養生コンクリートは最高温度の影響を大きく受け，同じ積算温度でも最高温度が高い場合の方が圧縮強度は大きくなる。また，最高温度が同一の場合は，圧縮強度は積算温度との相関性が非常に高い.

(2)蒸気養生コンクリートにおいては，水セメント比が低いほど C-S-H 系早強剤の初期強度促進効果は高い.

(3)最高温度が一定の条件においては，積算温度により脱型強度の推定が可能であると言える.

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)入江正明，鏡健太，梅村靖弘：高温蒸気養生履歴を受けるモルタルの脱型強度の推定，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.353-358, 2011.7

3)小泉信一，井元晴丈，馬場勇介，山﨑遥平：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

4)井元晴丈，小泉信一，花房賢治，馬場勇介：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

5)友澤史紀，牛島栄：最近の積算温度方式の発展とその応用，セメント・コンクリート，No.527, pp.66-74, 19