

普通ポルトランドセメントの圧縮強度発現性と水和反応に及ぼす蒸気養生履歴の影響

日本大学大学院理工学研究科 学生会員      ○尾畑 展宏  
日本大学大学院理工学研究科 学正会員      鏡 健太  
日本大学理工学部      正会員      梅村 靖弘

1. はじめに

蒸気養生は、プレキャストコンクリート(PCa)製品を製造する際に製造工程時間の約 9 割を占めており、製造コスト面に大きく影響している。そのため、PCa 製品の製造では、製品納期に余裕がない場合、蒸気養生工程を短縮した 1 日 2 サイクル製造工程が採用されている<sup>1)</sup>。本研究は、普通ポルトランドセメントを使用した 1 日 2 サイクル工程の蒸気養生で製造された製品の耐久性能の評価を行う上で重要となる水和反応について、一般的な 1 日 1 サイクル工程の蒸気養生と比較して検証を行ったものである。

2. 実験概要

**2.1 使用材料と配合条件：**使用材料を表－1、配合条件を表－2 に示す。また、水和反応分析用のペースト配合はモルタル配合から細骨材を除いたものとした。

**2.2 蒸気養生方法：**一般的な蒸気養生(A20B15C4D)と前置時間(A)、昇温速度(B)、最高温度継続時間(C)、降温速度(D)の 4 項目を短縮させた 1 日 2 サイクル工程の促進蒸気養生プログラム(A05B30C2)を 2 パターン設定し、図－1 と表－3 に示す。降温速度は 4.5℃/h の徐冷降下と最高温度から常温 20℃の環境条件下に暴露した急冷降下を設定した。蒸気養生終了後、室温 20℃恒温室内で材齢まで封緘養生を行った。さらに、蒸気養生を行わない場合と蒸気養生の比較を行うため、練混ぜ直後に 20℃恒温室内で封緘養生した常温養生を行った供試体を作製した。

**2.3 試験項目：**以下のように圧縮強度試験とセメントの水和反応試験を行った。試験材齢は、練混ぜ後、開始とした材齢 1, 3, 7, 14, 28, 91 日とした。

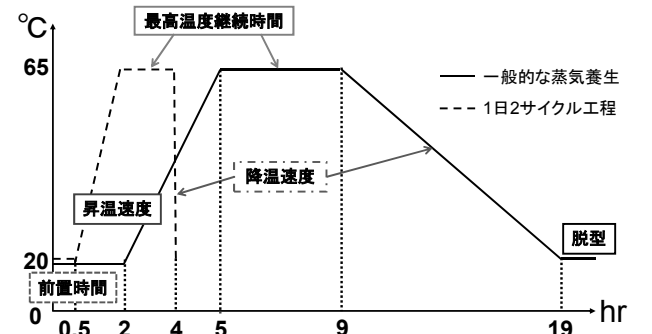
- (1) 圧縮強度試験：JIS A 1108 に準拠した。φ 50×100mm の缶モールドにてモルタル供試体を作製した。
- (2) 水和反応分析用試料調整：セメントペースト供試体を 2.5mm 角に粉砕し、試料をアセトンで 1 日浸漬させ水和停止を行い、40℃乾燥炉内に 1 日入れアセトンを蒸発させた試料を水和反応分析用試料とした。
- (3) 水酸化カルシウム(CH)の定量：分析用試料を熱重量示差熱分析(TG-DTA)によって、CH 量を測定した。
- (4) セメント鉱物及び水和物の定量：XRD/リートベ

表－1 使用材料

| 材料名  | 略号 | 材料の種類        | 備考                                                    |
|------|----|--------------|-------------------------------------------------------|
| 水    | W  | 水道水          |                                                       |
| セメント | C  | 普通ポルトランドセメント | 密度＝3.16g/cm <sup>3</sup><br>ブレーン値＝3260cm <sup>2</sup> |
| 細骨材  | S  | セメント強さ試験用標準砂 | 表密度＝2.62g/cm <sup>3</sup><br>吸水率＝0.42%                |

表－2 モルタル配合

| W/C (%) | S/C  | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |
|---------|------|--------------------------|-----|------|
|         |      | W                        | C   | S    |
| 50      | 2.25 | 300                      | 599 | 1348 |



図－1 蒸気養生槽内の温度プログラム

表－3 蒸気養生パターン

| 蒸気養生パターン  | 前置時間(A) | 昇温速度(B) | 最高温度継続時間(C) | 降温速度(D) |
|-----------|---------|---------|-------------|---------|
|           | (h)     | (°C/h)  | (h)         | (°C/h)  |
| A20B15C4D | 2       | 15      | 4           | 4.5     |
| A05B30C2  | 0.5     | 30      | 2           | 急冷降下    |
| 常温養生      | —       | —       | —           | —       |

ルト法により解析用ソフト TOPAS(Bruker AXS)を用い星野らの手法に準拠して測定した<sup>2)</sup>。定量は、内部標準物質として α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10mass%)を用いて、エーライト(C<sub>3</sub>S)、ビーライト(C<sub>2</sub>S)、間隙質(C<sub>3</sub>A、C<sub>4</sub>AF)、石こう(二水、半水)、CH、エトリンガイトの各セメント鉱物、水和物及びケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)を含む非晶質を同時に測定した。その定量値と熱重量示差熱分析による CH 量から相組成を求めた。

キーワード    プレキャストコンクリート    蒸気養生    水和反応    XRD/リートベルト法

連絡先    〒101-8308    東京都千代田区神田駿河 1-8-14    日本大学    理工学部    土木工学科    Tel/Fax03-3259-0682

### 3. 実験結果と考察

図-2 に圧縮強度を示す。一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、1 日 2 サイクル工程の A05B30C2 は、材齢 3 日までは小さくなった。材齢 7 日では同等となり、14 日以降は大きくなった。前置時間の大幅な短縮は異常凝結の可能性が懸念されたが圧縮強度の面からは異常凝結は確認されなかった。また、一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、常温養生は、材齢 3 日までは小さくなった。材齢 7 日以降は大きくなった。

図-3 に  $C_3S$  の反応率を示す。一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、1 日 2 サイクル工程の A05B30C2 は、材齢 3 日までは低くなった。材齢 7 日以降は同等となった。また、一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、常温養生は、材齢 3 日までは低くなった。材齢 7 日以降は同等となった。

図-4 に  $C_2S$  の反応率を示す。一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、1 日 2 サイクル工程の A05B30C2 は、材齢 7 日までは低くなった。しかし、材齢 7 日から 28 日は材齢の経過に伴い反応率が増進し、材齢 28 日では高くなった。材齢 28 日から 91 日は、反応率が停滞し材齢 91 日では同等となった。また、一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、常温養生は、材齢 7 日までは低くなった。材齢 14 日以降は同等以上となった。

図-5 に C-S-H 生成量を示す。一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、1 日 2 サイクル工程の A05B30C2 は、材齢 7 日までは低くなった。材齢 14 日以降では同等となった。また、一般的な蒸気養生 A20B15C4D と比較し、常温養生は、材齢 7 日までは低くなった。材齢 14 日以降は同等となった。一般的な蒸気養生と比較し、1 日 2 サイクル工程の蒸気養生は、C-S-H 生成量が材齢 14 日以降同等となっているにもかかわらず、圧縮強度が材齢 14 日以降大きくなった結果は、空隙構造の違いや C-S-H の構造的な違いによるものと推察され、今後検討が必要である。

図-6 に 1 日 2 サイクル工程の蒸気養生 A05B30C2 の XRD パターンを示す。凝結終了時間前に最高温度まで温度を上昇させ、水和反応を促進させたことにより間隙質である  $C_3A$  と  $C_4AF$  からエトリンガイトが多く生成されることが予想されたが、エトリン

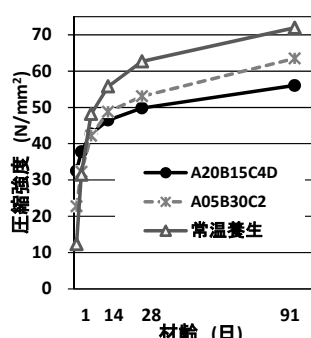


図-2 圧縮強度

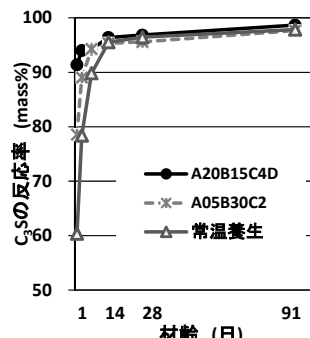


図-3  $C_3S$  の反応率

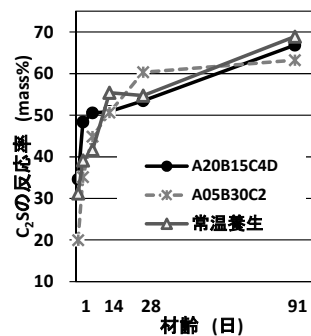


図-4  $C_2S$  の反応率

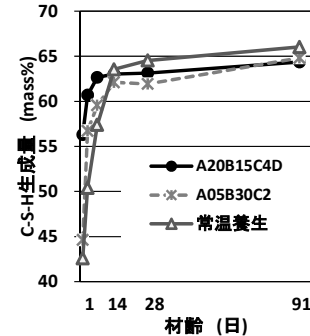


図-5 C-S-H 生成量

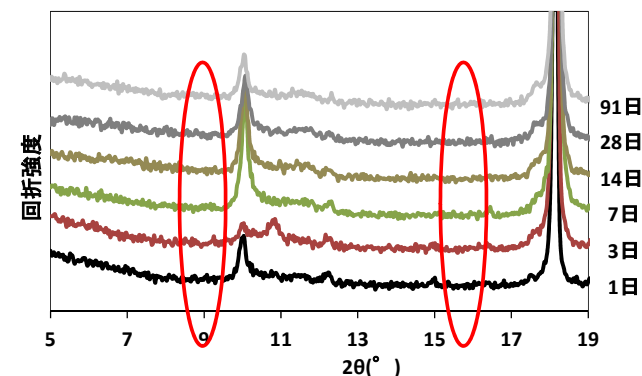


図-5 A05B30C2 の XRD パターン

ガイト( $2\theta=9^\circ, 15.8^\circ$ )のピークは認められなかった。

### 4. まとめ

蒸気養生工程を短縮した 1 日 2 サイクル工程の蒸気養生は、一般的な 1 日 1 サイクル工程の蒸気養生と比較し、圧縮強度が材齢 3 日までは小さくなったが、材齢 7 日以降は同等以上となった。セメント鉱物の反応率は、材齢 3 日までは低くなった。しかし、材齢 14 日以降は同等以上となった。そのため、C-S-H 生成量は、材齢 14 日以降同等となった。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会:「プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会」pp.111, 2009
- 2) 星野清一ほか:石灰石微粉末を添加したセメントの X 線回折/リートベルト法による水和反応解析と強度発現機構に関する検討, セメント・コンクリート論文集, No.60, pp.47-54, 2006