

蒸気養生を行った高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの強度発現性状

ピーシー橋梁 (株) 正会員 ○小林 崇
 ピーシー橋梁 (株) 牧 大樹

1. はじめに

近年、厳しい海洋環境下における塩害や寒冷地における凍結融解および凍結防止材の散布などによるコンクリートの劣化が問題となっている。これに対して、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、水密性・耐海水性・ASR 抑制などに優れ、耐久性の向上を目的として使用されることが多い。また、省エネルギー、CO₂ 発生量の低減やリサイクルの観点からも副産物である高炉スラグ微粉末の使用は有効である。

高炉スラグ微粉末は、一般にセメントと置換して使用するため、これを用いたコンクリートは、初期強度の発現性が低下する。このため、プレキャスト工場製品への適用においては、初期強度の確保から蒸気養生を行うことが前提となるが、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、蒸気養生が長期強度へ与える影響が、一般のコンクリートに比べて大きいという報告がある¹⁾。しかし、本件に関する研究報告は少なく、使用材料や置換率、蒸気養生条件による影響については検討されていない。

そこで、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートを PC 桁などのプレキャスト工場製品への適用を目的として、蒸気養生による初期強度の確保と蒸気養生が長期強度に与える影響の確認など、コンクリートの強度発現性状の把握を目的として実験を行った。

2. 実験概要

本実験における使用材料を表-1 に、コンクリートの配合条件を表-2 に示す。

本実験において、コンクリートの水結合材比 W/B は 30～39%とした。また、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの特性は、粉末度や置換率により異なることが知られている。本実験で高炉スラグ微粉末は、初期強度の発現性および耐久性が高いとされる粉末度 6000 品をセメントの 50% (質量比) 置換して使用するものとした²⁾。

コンクリート供試体の養生は、工場で実際に品質管理として行われている蒸気養生および標準養生によるものとした。蒸気養生は、材齢 15 時間までの積算温度に 90℃・hr 程度の差がつくように図-1 に示す 3 パターンで設定した。また、蒸気養生終了後は室温 15℃の環境下で気中養生を行った。標準養生用の供試体については、成形後室温 15℃一定の環境下で 24 時間気中養生を行い、その後、水温 20℃一定の環境下で水中養生を行った。

圧縮強度試験は、工場での翌日の脱枠、プレストレスの導入を考慮した材齢 15 時間とおおよび 7 日、28 日について行うものとした。

表-1 使用材料

種別	種類	備 考	記号
セメント	早強ポルトランドセメント	密度 3.14g/cm ³ 比表面積 4620cm ² /g	HC
混和材	高炉スラグ微粉末	密度 2.88g/cm ³ 比表面積 6050cm ² /g	BFS
細骨材	石灰砕砂	滋賀県伊吹山産 表乾密度 2.68 g/cm ³	S
粗骨材	硬質砂岩 碎石	三重県加太山産 表乾密度 2.67 g/cm ³	G
混和剤	高性能減水剤	ポリカルボキシ系エーテル系	SP
	AE 助剤	変性アルキルカルボン酸化合物系	AE

表-2 コンクリート配合条件

W/B (%)	W (kg/m ³)	BFS/B (%)	S/a (%)
30～39	150	50	43

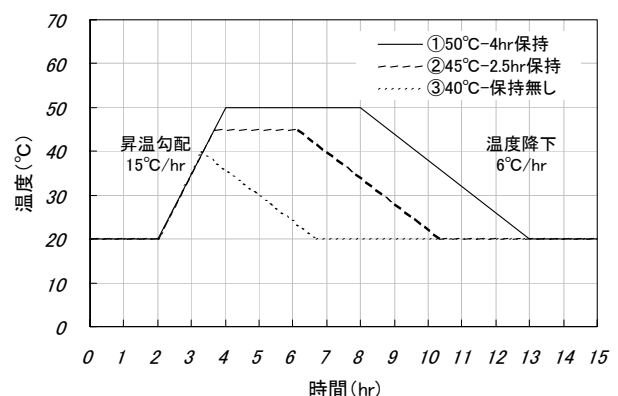


図-1 蒸気養生パターン

キーワード：高炉スラグ微粉末、プレキャスト工場製品、蒸気養生、標準養生、強度発現率
 連絡先：〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19 新御成門ビル TEL 03-3432-3586 FAX 03-3432-0588

3. 結果および考察

図-2 に結合材水比と圧縮強度の関係を示す。蒸気養生を行った場合の材齢 28 日における強度の発現は、結合材水比に関係なく、標準養生を行った場合の 8 割程度であった。

コンクリートの品質管理では、コンクリートが本来持つ強度の特性値を把握するため、標準養生が行われる。しかし、蒸気養生を行った高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、長期強度の低下が考えられる。これより、品質管理においては、製品と同一の養生により管理するか、予め標準養生と実製品の強度より補正値を算出しておく必要があると考えられる。

図-3 に蒸気養生条件と強度発現性の関係を示す。ここに示す強度発現率は、標準養生材齢 28 日強度に対する各材齢における強度の発現率 (σ / σ_{28w}) である。図より、蒸気養生による長期強度の低下率は、初期強度が確保できる範囲内で初期温度を抑えることにより、低減が可能であることが確認された。

初期強度の確保について、図-3 に示した強度発現率と積算温度の実験結果を表-3 に示す。本実験において、蒸気養生は、材齢 15 時間までの積算温度が $90^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ 程度の間隔となるよう 3 パターン設定したが、初期強度の発現率はこれに比例していない。また、蒸気養生後の環境条件は全て同一としたが、初期の温度履歴が小さく初期強度が低い場合では、材齢 7 日以降でも初期の強度発現率が高いものに比べ、強度の増加率が大きい。これより、積算温度方式により蒸気養生を行う高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの強度推定を行う場合には、初期の温度履歴により長期強度が低下する性状を考慮する必要があると思われる。

今回の実験で得られた蒸気養生条件と初期強度の発現性および長期強度の増進挙動の関係から、これらに最も効率

のよい蒸気養生条件は、最高温度 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ で $0\sim 3$ 時間保持 (積算温度で $347\sim 435^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$) の間にあるものと考えられる。これより、季節によって蒸気養生を行う必要がない場合も考えられ、今後、蒸気養生を行わない気中養生も含めたデータの蓄積により強度特性の把握、推定方法の確立が必要であると思われる。

4. まとめ

本実験により、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、蒸気養生を行うことにより初期における強度発現性は向上するものの、蒸気養生による長期強度の低下は、一般的なコンクリートに比べ大きいことが確認された。

高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは温度依存性が高く、配合設計にあたっては、製品製作時の気温条件、促進養生パターンなど適切に設定を行うことが必要であると思われる。

参考文献

- 1) 小山広光, 伊達重之, 高山章大, 笠井哲郎: 常圧蒸気養生した高炉スラグ微粉末混入コンクリートの圧縮強度, 土木学会第 61 回年次学術講演会 (平成 18 年 9 月), pp.357-358
- 2) 土木学会: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー86, pp.79-123, 1996.6

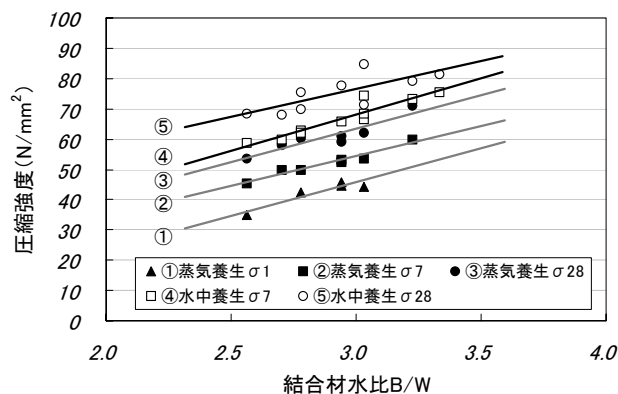


図-2 結合材比と圧縮強度の関係

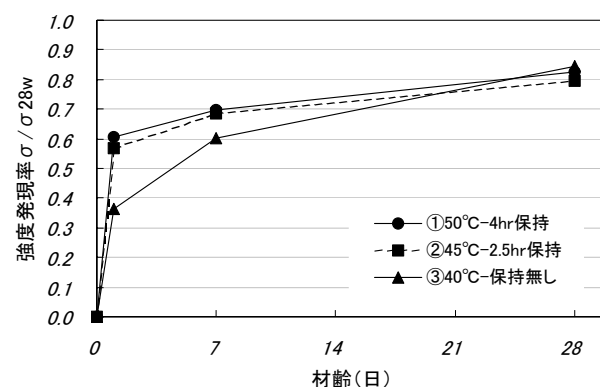


図-3 蒸気養生条件と強度発現性の関係

表-3 蒸気養生条件毎の強度発現性

蒸気養生条件	積算温度* ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$)	強度発現率		
		15hr	7 日	28 日
① 50°C -4hr 保持	525	0.61	0.70	0.83
② 45°C -2.5hr 保持	435	0.57	0.69	0.80
③ 40°C -保持無し	347	0.37	0.60	0.85

※ 材齢 15 時間までの積算温度。以下より算出。

$$M = \sum (\theta \cdot \Delta t)$$

θ : 養生温度 ($^{\circ}\text{C}$), Δt : 時間 (hr)