

## 比表面積の異なる高炉スラグ微粉末が蒸気養生コンクリートの強度特性および細孔構造に及ぼす影響

首都大学東京 学生会員 大野 優実      首都大学東京 正会員 宇治 公隆  
 首都大学東京 正会員 上野 敦      首都大学東京 正会員 大野 健太郎  
 東京セメント工業株式会社 正会員 原 洋介

### 1. はじめに

蒸気養生を実施したコンクリートの細孔構造は同一配合の現場打ちのコンクリートと比較して粗大になり<sup>1)</sup>、それにより強度および耐久性が低下することがわかっている<sup>2)</sup>。本研究では、蒸気養生中の水和特性の把握を目的に、高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの強度発現および細孔構造について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料およびコンクリートの配合

表-1 に使用材料を、表-2 に配合表を、表-3 に供試体諸元を示す。水セメント比はプレキャストコンクリート製品で多く用いられる40%とした。高炉スラグ微粉末は、水和熱抑制効果の異なる比表面積3000(cm<sup>2</sup>/g)と4000(cm<sup>2</sup>/g)の2ケースについて実験を行い、セメントの重量比50%を高炉スラグで置き換えた。

#### 2.2 養生条件

図-1 に蒸気養生工程を示す。蒸気養生条件は、大型プレキャストコンクリート製品を作製する際に多く用いられるサイクルを適用した。また、比較検討用の養生条件として、現場打ちのうちの封緘養生を取り上げた。

#### 2.3 試験項目

本研究では、蒸気養生中の養生槽内およびコンクリートの温度測定、圧縮強度試験(JIS A 1108)、曲げ強度試験(JIS A 1106)、水銀圧入法による細孔径分布測定を行った。圧縮強度、曲げ強度、細孔径分布は、脱型時、材齢14, 28, 91日に試験を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 蒸気養生中の乾燥抑制

セメントの一部分を高炉スラグ微粉末へ置き換えたことによる蒸気養生中の水和特性を確認するため、蒸気養生中の養生槽内温度とコンクリート温度を測定した。コンクリート温度は、供試体(φ100mm×200mm)の中心部と打設面表面の2箇所を測定した。図-2~4 にs40-d, s40-d3000, s40-d4000の測定結果を示す。図-2 より、s40-dは、最高温度保持工程から、供試体温度が養生槽内温度を上回り、降温時には、供試体温度が養生槽内温度に遅れて下降している。これは、セメントの水和が著しく、水和熱量が大きくなったためと考えられる。

図-3, 4 より、s40-d3000, s40-d4000ともに、降温工程から供試体温度が養生槽内温度を若干上回っているが、s40-dと比較して、その差は小さい。特に、s40-d3000では、供試体の中心部と表面の温度差がほとんど生じていない。これは、高炉スラグ微粉末の水和熱低減効果によるものであり、比表面積が小

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-1111

表-1 使用材料

結合材	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積: 3280cm <sup>2</sup> /g
混和材	高炉スラグ微粉末3000, 密度: 2.90g/cm <sup>3</sup> , 比表面積: 3240cm <sup>2</sup> /g 高炉スラグ微粉末4000, 密度: 2.90g/cm <sup>3</sup> , 比表面積: 4370cm <sup>2</sup> /g
細骨材	砕砂, 表乾密度: 2.63g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 1.15%, F.M.=3.02
粗骨材	砕石, 表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 2.43%, F.M.=6.69
混和剤	AE剤: 変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤 高性能減水剤: ポリカルボン酸エーテル系

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	目標スランブ (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						高性能減水剤 WR	AE剤 AE
					水 W	セメント C	スラグ BS	細骨材 S	粗骨材 G			
20	8.0	4.5	40	43	170	425	—	736	987	C×0.70%	C×0.0045%	
20	8.0	4.5	40	43	170	212.5	212.5	728	976	C×0.40%	C×0.0045%	

表-3 供試体諸元

種類	W/C (%)	混和材	養生条件		記号
			一次養生	二次養生	
蒸気養生 (s)	40	高炉スラグ微粉末3000 高炉スラグ微粉末4000	蒸気養生	気中保管 (R.H.60%) (d)	s40-d
					s40-d3000
現場打ち模擬 (n)	40	高炉スラグ微粉末3000 高炉スラグ微粉末4000	封緘養生 (5日間) (5r)	(d)	n40-5r-d
					n40-5r-d3000
					n40-5r-d4000

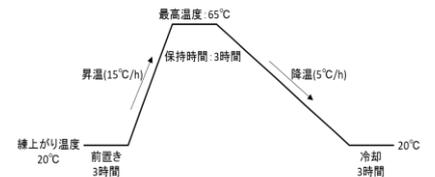


図-1 蒸気養生工程

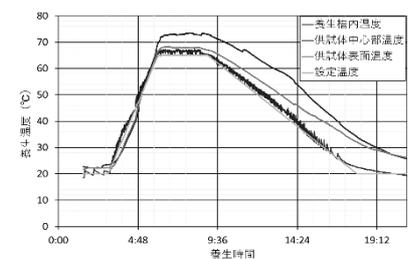


図-2 s40-dの温度履歴

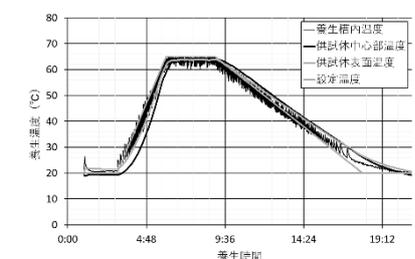


図-3 s40-d3000の温度履歴

さいほど、低減効果は大きい。以上のことから、高炉スラグ微粉末を混和材として用いることで、蒸気養生中の水和は抑えられるものの、養生槽内温度が供試体温度を上回ることによる乾燥の抑制には効果があると考えられる。また、高炉スラグ微粉末の比表面積が小さいほど、その効果は大きくなるといえる。

3. 2 コンクリートの強度

図-5に圧縮強度を示す。圧縮強度は、養生条件によらず、高炉スラグ微粉末を使用していない、s40-d, n40-5r-dが高い値を示した。これは、高炉スラグの活性度が低く、セメントの水和反応が十分に進行していないためである。高強度を要する場合には、二次養生などの検討が必要である。一方、図-6の強度増進に着目すると、高炉スラグ微粉末を混和材として使用したs40-d3000, s40-d4000は気中保管後も強度増進が停滞していない。以上のことから、蒸気養生中の乾燥抑制によって、強度増進は停滞しにくくなると推察される。

図-7に曲げ強度を示す。曲げ強度は、配合によらず、蒸気養生を行った供試体の強度がわずかに低下した。一方、強度増進に着目すると、普通コンクリートのs40-d, n40-5r-dは、強度増進の差が大きい。高炉スラグ微粉末を混和材として使用した3000シリーズ, 4000シリーズは養生条件の違いによる強度増進の差が小さい。また、蒸気養生を行ったコンクリートは高炉スラグ微粉末の有無による強度の差が小さいといえる。

3. 3 細孔構造の比較

細孔径分布測定では、水銀圧入式ポロシメーターを用いて細孔直径および細孔容積を測定した。供試体は、100×100×400mmの角柱供試体とし、型枠面から30mmの深さまでの試料を採取し、測定を行った。結果を図-8に示す。3000シリーズ, 4000シリーズともに、脱型時は材齢の違いもあり、s40-dの細孔量がn40-5r-dに比べて多い。また、材齢初期では、養生条件によらず、比表面積の小さい3000シリーズの細孔量が多い。しかし、材齢が進行するにつれ、養生条件によらず細孔量の差が小さくなった。

4. まとめ

- (1)高炉スラグ微粉末を混和材として使用することで、セメントの水和熱量を抑えることにより、蒸気養生中のコンクリート表層部の乾燥を抑制することができる。
- (2)圧縮強度および曲げ強度は、蒸気養生の場合、高炉スラグ微粉末を混和材として使用すると、水和反応性の観点から強度を得にくい。高強度を要する場合には、二次養生などの検討が必要である。高炉スラグ微粉末を混和材として使用した場合、気中保管時の強度の増進が停滞しにくくなることがわかった。
- (3)蒸気養生を施したコンクリートの細孔構造は、初期段階では封緘養生のものに劣るが、材齢の進行に伴い改善されることが確認できた。

参考文献

1) 郭度連, 宇治公隆, 國府勝郎, 上野敦: 乾燥によるコンクリート組織の不均質化, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.711-716, 2002.6  
 2) 鳥海秋, 宇治公隆, 上野敦, 原洋介: 蒸気養生中の散水がコンクリート製品の強度特性および細孔構造に及ぼす影響, 土木学会第72回年次学術講演会, V-379, pp.757-758, 2017.9

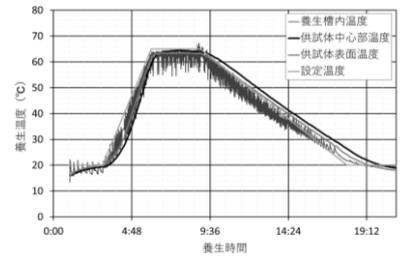


図-4 s40-d4000の温度履歴

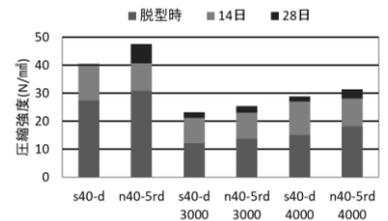


図-5 圧縮強度

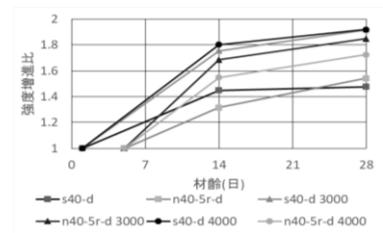


図-6 圧縮強度増進

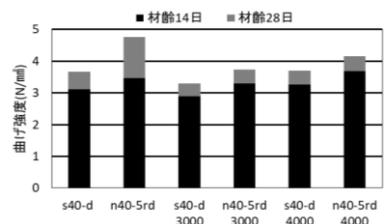


図-7 曲げ強度

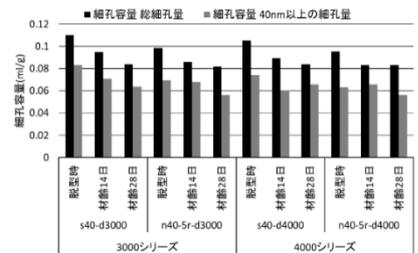


図-8 細孔構造