

高炉スラグ微粉末を混和した高強度コンクリートの中性化に関する検討

○九州大学大学院 学生会員 本城 玲 九州大学大学院 フェロー 松下博通
九州大学大学院 正会員 佐川康貴 新日鐵高炉セメント(株) 正会員 前田悦孝
新日鐵高炉セメント(株) 正会員 近田孝夫

1. はじめに

近年プレストレストコンクリート(以下 PC)の塩害による劣化が問題になっており,その対策として高炉スラグ微粉末 6000(以下 BFS6)の適用が検討されている。しかし高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートは早強ポルトランドセメント(以下早強セメント)のみを使用した場合に比べて初期強度が低く,中性化の進行が早いことが知られており,また中性化により塩分浸透が促進されることも懸念される。そこで本研究では,蒸気養生を必要とする PC 構造物を想定して,早強セメントを用いた低水セメント比コンクリートに BFS6 を混和して蒸気養生を行った場合に,プレストレス導入時の圧縮強度を満足する条件を明らかにするとともに,早強セメントのみを使用した場合と同等の高い中性化抵抗性を確保するための条件について検討した。

2. 実験方法

表 - 1 に使用材料を,表 - 2 に配合を示す。コンクリートの配合は目標スランプ $10 \pm 2.5\text{cm}$, 目標空気量 $2.0 \pm 1.0\%$ を満たすように試験練りによって決定した。供試体は中性化促進試験用として $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体,圧縮強度試験用として $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体とした。打設は温度 20 の恒温室内にて行い,表 - 3 に示す条件で蒸気養生を行った。

蒸気養生直後の強度発現性を調べるため,脱型時間を 10 ~ 24 時間の間で変化させ,圧縮強度試験を JIS A 1108 に準拠して行った。養生槽から取り出した供試体は直ちに脱型して端面を研磨し,約 30 ~ 45 分間 20 の恒温室内に静置し,その後強度試験に供した。

中性化促進試験に供する供試体は,脱型まで蒸気養生を施し,脱型時間を 16 時間とし脱型後は表 - 4 に示す養生を施した。その後材齢 35 ~ 42 日の間に打設面,底面,両端面をエポキシ樹脂で被覆し,材齢 42 日から中性化促進試験を開始した。促進環境は温度 40,湿度 60%RH,CO₂濃度 7%とした。測定時期は,中性化促進試験開始から 2,6,13,26,46 週とした。中性化深さの測定は,供試体を長手方向端部から順次 50mm の厚さで割裂し,1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧して未着色部分の深さを測定した。残った供試体は割裂面をエポキシ樹脂で被覆し,中性化促進試験を継続した。

また中性化による硬化体の微細組織の変化を調査するため,中性化深さを測定した供試体片の浸透表面 0.5mm の位置から約 5mm 角のモルタル試料を採取し,水銀圧入式ポロシメータにより細孔径分布を測定した。測定時期は,中性化促進試験前,促進期間 13 週および 26 週とした。

キーワード: 高炉スラグ微粉末, PC, 圧縮強度, 中性化, 細孔径分布

連絡先: 福岡市東区箱崎 6-10-1・TEL: 092-641-3131 (内 8654)・FAX: 092-642-3271

表 - 1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度: $3.14\text{g}/\text{cm}^3$
高炉スラグ微粉末	高炉スラグ微粉末6000 密度: $2.91\text{g}/\text{cm}^3$
化学混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
細骨材	福岡県西浦産海砂2:相ノ島海砂1 密度: $2.59\text{g}/\text{cm}^3$
粗骨材	北九州市門司区産砕石2005 密度: $2.72\text{g}/\text{cm}^3$

表 - 2 配合

W/B (%)	s/a (%)	スラグ 置換率 (%)	単位量 (kg/m^3)					
			W	C	BFS	S	G	SP
35	41	50	145	207	207	740	1119	2.484
40	42	50	145	181	181	777	1127	2.172
40	42	-	145	363	-	782	1134	2.904

表 - 3 蒸気養生の条件

前置き時間	3hr
昇温, 降温	$15^\circ\text{C}/\text{hr}$
最高温度	55°C (× 4hr)

表 - 4 脱型後の養生

脱型後の養生	・気中 ・材齢3日まで水中→気中 ・材齢28日まで水中→気中
気中: 温度 20°C , 相対湿度60%RH 水中: 水温 20°C	

3. 実験結果および考察

図 - 1 に蒸気養生終了時の圧縮強度を示す。BFS6 を混和して $W/B=35\%$ としたコンクリートは、早強セメントのみの $W/C=40\%$ のものと同様以上の強度発現性を示している。プレテンション方式のプレストレス導入時に必要とされる圧縮強度は 35N/mm^2 とされており、BFS6 を混和した $W/B=35\%$ のものはこれを十分に満足できる結果となった。BFS6 を混和した $W/B=40\%$ のものは、脱型時間 24 時間においては圧縮強度 35N/mm^2 に達しているものの、コンクリートの品質変動などを考慮すると十分な強度とはいえない。よって PC への適用を考えた場合、BFS6 を混和したコンクリートでは、早強セメントのみの場合より W/B を 5% 程度小さくする必要があると考えられる。

図 - 2 は BFS6 を混和した $W/B=35\%$ のコンクリートと早強セメントのみで $W/C=40\%$ のコンクリートについて、中性化の進行に及ぼす水中養生期間の影響を示したものである。水中養生を行わなかった場合、BFS6 を混和したもののほうが早強セメントのみのものより中性化の進行が早い。材齢 3 日まで水中養生すると両者の差は殆どなくなり、長期的にはあまり中性化は進行しなかった。28 日まで水中養生したものは両者とも殆ど中性化しなかった。従って、BFS6 を混和したコンクリートは、蒸気養生後の湿潤養生を適切に行うことにより早強セメントのみのコンクリートと同等の高い中性化抵抗性を確保できると考えられる。

図 - 3 に BFS6 を混和した $W/B=35\%$ のコンクリートの細孔容積の経時変化を示す。促進前に比べて促進期間 13 週および 26 週において細孔容積が大幅に減少している。スラグを混和した場合に炭酸ガスの影響を受けると、 $C-S-H$ の分解により空隙が粗大化すると報告もあるが¹⁾、どの細孔径範囲についても空隙量の顕著な増加はみられず、水和物の分解による多孔化よりも材齢の経過および炭酸化による緻密化の影響が大きかったと考えられる。

4. まとめ

- 1) 蒸気養生を施したコンクリートに BFS6 を混和した場合、早強セメントのみを使用したときより W/B を 5% 程度小さくすることで、同等の初期強度発現性を示した。
- 2) BFS6 を混和して W/B を 5% 程度小さくしたものは、蒸気養生後の湿潤養生を適切に行うことで早強セメントのみを使用した場合と同等の高い中性化抵抗性を発揮した。また、空隙の粗大化は認められなかった。

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)(研究代表者：九州大学 松下博通 No.14350235)の一環として行ったものである。

【参考文献】1) 坂井悦郎，金尚奎，大門正機：高炉スラグセメント硬化体の炭酸化反応による多孔化の抑制方法，セメントコンクリート論文集，No.49，pp.714-719，1995

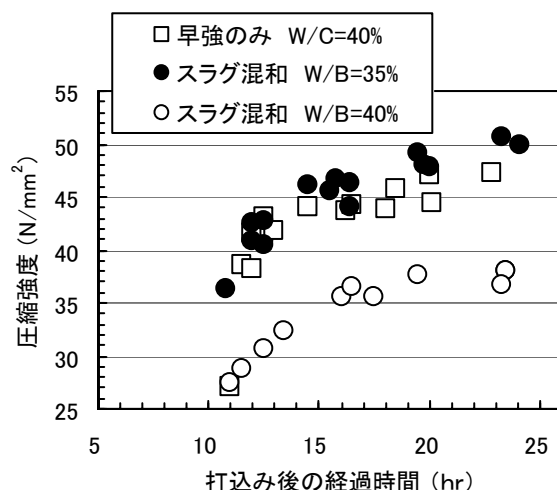


図 - 1 蒸気養生終了時の圧縮強度

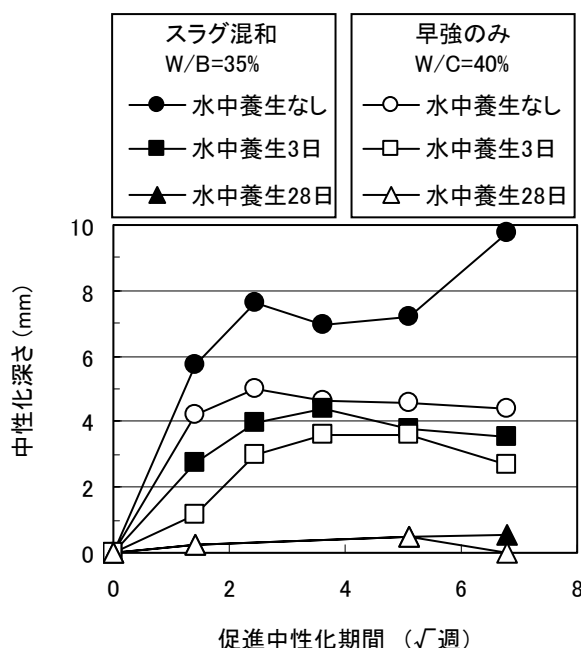


図 - 2 中性化深さの経時変化

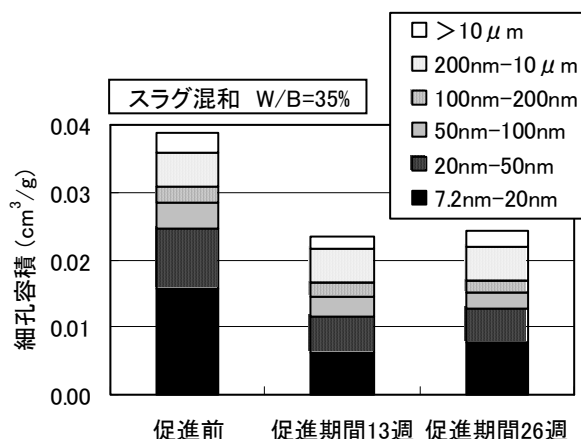


図 - 3 細孔容積の経時変化