

高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの温度特性に関する検討

戸田建設株式会社 正会員 ○土師 康一 正会員 田中 徹

西松建設株式会社 フェロー 佐藤 幸三 正会員 椎名 貴快

株式会社フローリック 正会員 小池 晶子

国立研究開発法人土木研究所 正会員 中村 英佑

1. はじめに

近年、環境負荷低減を目的として、セメントの製造過程におけるCO₂排出削減を図るため、結合材であるポルトランドセメントの使用量を抑制し、代替材料として副産物である高炉スラグ微粉末等を使用したコンクリートの開発が進められている。本稿では、ポルトランドセメントの90%を高炉スラグ微粉末で置換した高炉スラグ微粉末高含有コンクリート(以下、H10BF)について、温度特性に着目し検討した結果について報告する。

2. 配合および使用材料

表-1 に今回検討した試験配合を、表-2 に使用材料を示す。本配合は早強ポルトランドセメントを使用し、セメント使用量を抑制するため、SO₃換算で2.0%となるように石膏を添加した高炉スラグ微粉末(4000)をJIS R 5211 高炉セメントの上限値となる70%を超えた、90%使用した配合としている。

3. 室内試験概要および試験結果

3. 1 熱膨張係数

中心部に埋込み型ひずみ計を埋設した供試体(φ100×200mm)を使用し、温度変化に伴う体積変化特性を把握することを目的として熱膨張試験を実施した。試験方法としては、打設後20℃環境下で材齢3日まで湿潤養生した後、脱型し材齢28日まで同環境下で封緘養生を行った。その後、供試体に温度履歴(20~60℃、4サイクル、温度変化:2.0℃/hr)を与えてひずみを測定した(図-1参照)。

試験結果を表-3に示す。試験の結果から得られた熱膨張係数は12.8×10⁻⁶/℃と『コンクリート標準示方書(設計編)』¹⁾に示す高炉セメントB種の熱膨張係数(12×10⁻⁶/℃)より7%程度大きくなる結果となった。

3. 2 断熱温度上昇特性

セメント水和熱による断熱温度上昇特性を把握することを目的として断熱温度上昇試験(JCI-SQA3)を実施した。図-2に試験結果を示し比較のため、図中に『コンクリート標準示方書(設計編)』¹⁾を基に設定した、材齢28日での圧縮強度が同等の各種セメント配合の断熱温度上昇量の計算値を併記する。図より本配合の断熱温度上昇量は他のセメントの終局断熱温度上昇量Q_∞の51~60%程度となった。また、本配合は施工性を考慮し、フレッシュ状態での経時保持性を高めるため特殊混和剤を使用した²⁾。そのため、凝結時間がやや遅れ、温度上昇の起点材齢が0.5日程度になった。

表-1 試験配合(H10BF)

BFS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤
			W	B		S	G	AD (B×%)
				HPC	BFS			
90	35.0	50.0	165	47	424	811	838	1.00

表-2 使用材料

材料	記号	仕様
水	W	上水道水
セメント	HPC	早強ポルトランドセメント 密度:3.14g/cm ³ ,比表面積:4,490cm ² /g
混合剤	BFS	高炉スラグ微粉末 密度:2.89g/cm ³ ,比表面積:4,440cm ² /g
細骨材	S	掛川産山砂 表乾密度:2.58g/cm ³ ,吸水率:2.01%
粗骨材	G	笠間産碎石 表乾密度:2.67g/cm ³ ,吸水率:0.43%
混和剤	AD	高性能AE減水剤(標準形I種) ポリカルボン酸化合物、リグニルスルホン酸塩

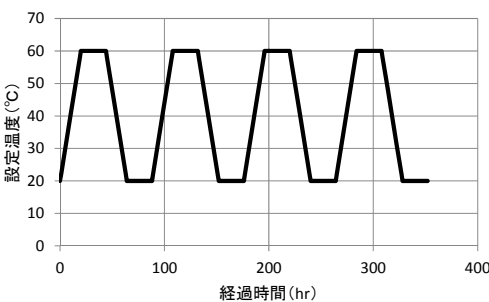


図-1 熱膨張係数測定時の温度履歴

表-3 熱膨張係数測定結果

サイクル	熱膨張係数(×10 ⁻⁶ /℃)		
	上昇時	下降時	平均
2回目	12.1	12.7	12.8
3回目	12.8	12.9	
4回目	13.0	13.1	

キーワード 高炉スラグ微粉末, CO₂排出削減, 低炭素, 熱膨張係数, 断熱温度上昇特性

連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設(株) 本社土木工事技術部 TEL03-3535-1614

4. 試験打設概要および計測結果

実施工時における試験配合の温度上昇特性の把握を目的として、実施工設備を用いた試験打設を実施した。供試体は写真-1に示すように、一辺が1.0mの立方体状で、打設時の温度性状を確認するために深さ0.5mの位置の供試体中心部、ならびに端部に熱電対を配置した。また、比較のため、材齢28日における圧縮強度が同等となる普通コンクリート(27-12-20N)を同時打設し、温度計測結果の比較を行った。図-3に試験打設時における封緘養生供試体(φ100×200mm)の圧縮強度試験結果を示す。図より今回配合については、普通コンクリートと概ね同等の初期強度発現となった。

4.1 温度測定結果

図-4に試験打設時におけるコンクリート供試体の温度計測結果を示す。図に示すようにH10BF供試体中心部のピーク温度は普通コンクリートに比べ約10℃低く、また、温度ピークの材齢が5時間遅延することが分かった。これは断熱温度上昇試験と同様の帰結を示唆するものである。また、図-5に供試体中心部におけるH10BFの温度計測結果と、試験物性を用いた温度解析結果を示す。図に示すように実測値がピーク温度で0.6℃高く、ピーク材齢が2.9時間早いものの、定性的には強い相関関係が見られ、実打設時の温度上昇特性を再現できると考える。

5. まとめ

今回検討により以下のことが確認された。

- (1) H10BFの熱膨張係数は $12.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となり、高炉セメントB種を用いたコンクリートに比べ熱膨張係数が7%程度大きくなることが確認された。
- (2) 終局断熱温度上昇量 Q_{∞} が他のセメント使用時に比べ51~60%程度に小さくなり、また、混和剤の影響により初期の温度上昇に遅延傾向が見られた。
- (3) 実打設状況からも水和熱抑制効果が確認され、また、試験結果を用いた温度解析により温度履歴を再現できることが明らかになった。

なお、本件は土木研究所が主催する共同研究の成果の一部である。

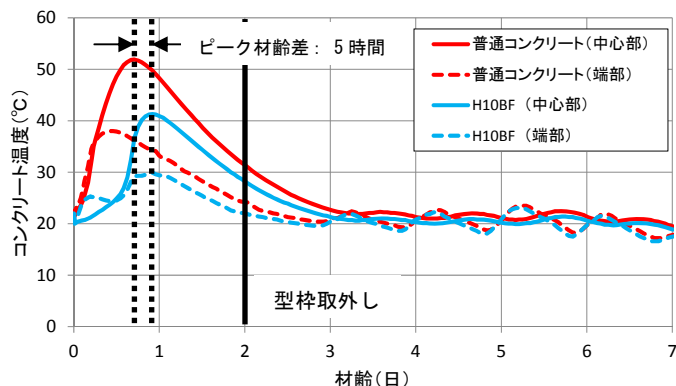
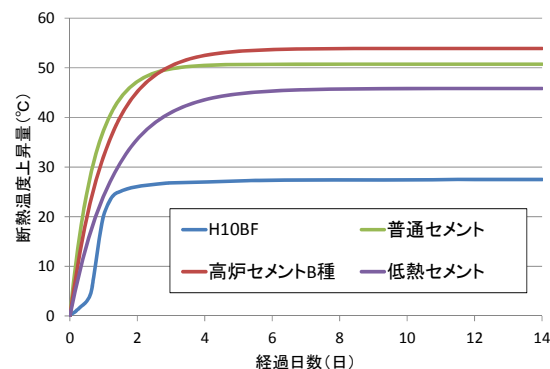


図-4 温度計測結果



	H10BF	普通	高炉B	低熱
$Q_{\infty}(^{\circ}\text{C})$	27.5	50.7	53.9	45.8

図-2 断熱温度上昇特性

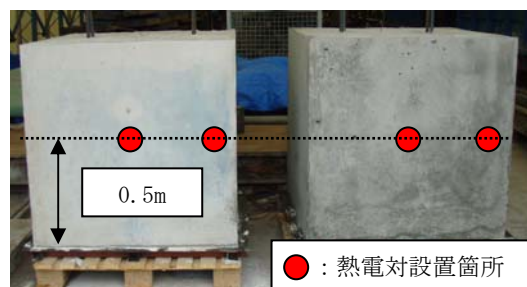


写真-1 試験打設供試体

(左: 高炉スラグ高含有配合(H10BF),
右: 普通コンクリート(27-12-20N))

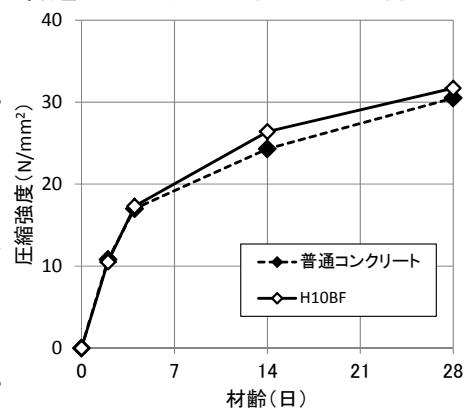


図-3 強度試験結果(封緘養生)

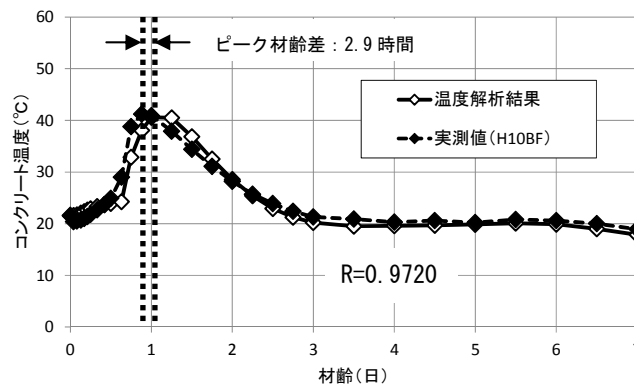


図-5 温度解析結果と実測値(中心部)

参考文献

- 1) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書(設計編)，2013.3
- 2) 川口泰弘ら：副産物を高含有した低炭素コンクリートの施工性に関する一検討，土木学会第67回年次学術講演会，H24.9