

## 高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの強度と耐久性に着目した湿潤養生期間

西松建設株式会社 正会員 ○椎名 貴快 フェロー 佐藤 幸三  
 戸田建設株式会社 正会員 田中 徹 正会員 土師 康一  
 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、環境負荷低減や資源有効利用の観点から、セメントの代わりに CO<sub>2</sub> 排出原単位の少ない副産物を積極的に用いた低炭素型コンクリートが注目されているが、特にセメント使用量の極めて少ない配合については施工時における湿潤養生期間の規定が明確ではなく、報告事例も少ない。そこで、ポルトランドセメントの 90%を高炉スラグ微粉末（以下、BFS）で置換した BFS 高含有配合（以下、H10BF 配合）を例に、湿潤養生期間の違いが強度や耐久性（中性化抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性）に与える影響を実験で確認した。本稿では実験で得られた結果について報告する。

### 2. コンクリート配合と使用材料

表-1 に本実験で用いたコンクリート H10BF の配合と使用材料を示す。本配合は早強ポルトランドセメントを使用し、高炉スラグ微粉末 4000（石膏 SO<sub>3</sub> 換算 2.0%内添）をセメント質量の内割 90%置換で使用した。また水結合材比 (W/B)35.0%、細骨材率(s/a)50.0%とし、フレッシュ性状の目標はフロー425±75mm、空気量 4.5±1.5%である。試験体の作製および養生はすべて 20°C環境で実施した。

表-1 コンクリート H10BF の配合と使用材料

BFS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						SP (B×%)
			W	B		S	G1	G2	
				HPC	BFS				
90	35.0	50.0	165	47	424	811	419	419	1.00

HPC: 早強ポルトランドセメント, 密度 3.14g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 4,490cm<sup>2</sup>/g  
 BFS: 高炉スラグ微粉末 4000 (石膏 SO<sub>3</sub> 換算 2.0%内添), 密度 2.89g/cm<sup>3</sup>  
 S: 掛川産山砂 (硬質砂岩), 表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 2.01%, F.M2.71  
 G1: 笠間産 5 号砕石 (硬質砂岩), 表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 0.43%  
 G2: 笠間産 6 号砕石 (硬質砂岩), 表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 0.46%  
 SP: ポリカルボン酸系化合物, リグニンスルホン酸塩

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 圧縮強度と静弾性係数の関係

図-1 に H10BF 配合の圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。また同図中には比較参考データとして、表-2 のとおり、BFS 置換率が高炉セメント JIS 規格(JIS R 5211)の B 種相当の分量(50%), C 種相当の分量(70%), 規格外の分量(90%)の 3 水準全 7 配合の結果も併記した。なお図中の記号について、白塗部は強度試験材齢時まで最長 28 日間 20°C環境下で湿潤養生(水中養生)したケース、黒塗部は無養生のケースを表している。同図より、湿潤養生した場合、BFS 置換率やセメント種類の違いによらず圧縮強度と静弾性係数との関係は概ね同じ傾向を示し、土木学会式<sup>1)</sup>とも一致した。一方、無養生の場合は静弾性係数の値がやや小さくなり、湿潤養生の有無が静弾性係数の値に影響を与えることが確認された。

表-2 比較参考配合の仕様

	BFS 置換率	セメント種類	W/B (%)
①	B 種相当の分量(50%)	OPC	50
②	C 種相当の分量(70%)	OPC	35, 40, 50, 60
③	JIS 規格外の分量(90%)	HPC	30, 45

#### (2) 圧縮強度

図-2 に H10BF 配合で 20°C環境下における湿潤養生期間を 3 日, 7 日, 10 日, 14 日, 28 日の 5 水準とした場合の材齢 28 日および 91 日における圧縮強度試験結果を示す。なお所定の湿潤養生期間が終了した後はすべて 20°C気中に存置した。図中の圧縮強度の値は湿潤養生期間 28 日での値を 1.0 とした時の比率で表した。同図より、28 日

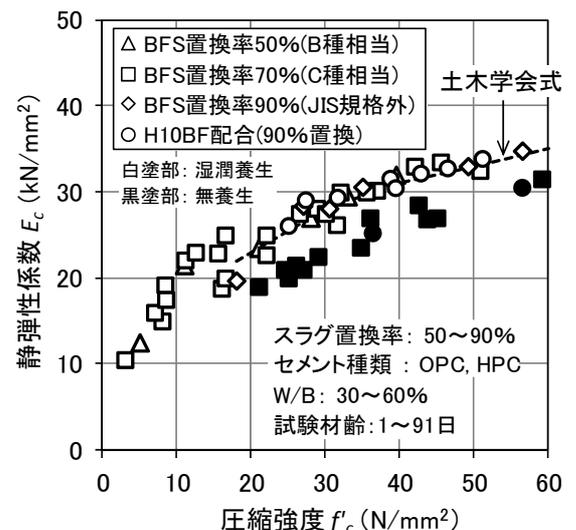


図-1 圧縮強度と静弾性係数との関係

キーワード 高炉スラグ微粉末, 低炭素型コンクリート, 湿潤養生, 強度, 中性化, 塩化物イオン

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋六丁目 17 番 21 号 西松建設(株)技術研究所 TEL. 03-3502-0249

強度は湿潤養生期間3日では28日間養生した場合と比較して10%程度低いものの、7日以上実施すれば概ね等しい結果であった。一方、91日強度は湿潤養生期間7日でも28日養生強度に比べて10%程度低く、10~14日養生しても6~7%低い結果であった。以上より、湿潤養生期間が長いほど強度発現には有利に作用し、特に長期強度発現性を確保するには極めて長い養生期間を要するが、実際の工事を想定した場合、強度管理材齢を28日とすると、湿潤養生期間は7日以上で十分に所要強度を確保できると考える。

**(3) 中性化抵抗性**

図-3にH10BF配合での促進中性化試験(JIS A 1153)および内陸暴露実験(茨城県つくば市内、暴露24ヶ月)から得られた中性化速度係数の結果を湿潤養生期間別に示す。ただし中性化速度係数の値は湿潤養生期間28日での値を1.0とした時の比率で表した。同図より、促進中性化試験および内陸暴露実験の結果はともに、湿潤養生を7日以上実施した場合、中性化抵抗性が28日間養生した結果と概ね同程度になることがわかった。

**(4) 塩化物イオン浸透抵抗性**

新潟県の海岸線付近に21ヶ月間暴露した試験体の塩化物イオン浸透深さを硝酸銀溶液噴霧試験の発色深さから求め、湿潤養生期間28日での値を1.0とした時の比率で湿潤養生期間別に図-4に示す。同図より、湿潤養生を7日以上実施した場合、塩化物イオン浸透深さ、つまり塩化物イオン浸透抵抗性は概ね同程度であった。なお、ここで示した結果は暴露実験から求めたため、中性化の進行に伴う塩化物イオン量の内部濃縮効果による影響も含まれており、塩害と中性化が複合的に作用した条件下での値である。

**4. まとめ**

BFSを用いたコンクリートの標準的な湿潤養生期間として、B種の配合では7日以上(日平均15℃以上)、C種相当では8日以上(規定がある(表-3))。本実験の結果、BFS置換率が90%のH10BF配合における湿潤養生期間(20℃環境)は、湿潤養生期間28日での強度や耐久性(中性化抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性)との比較により、7日以上が望ましい結果であった。

本稿は、国立研究開発法人土木研究所が主催する共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」において著者らが実施した実験結果の一部をまとめたものである。

**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) 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，1996.6

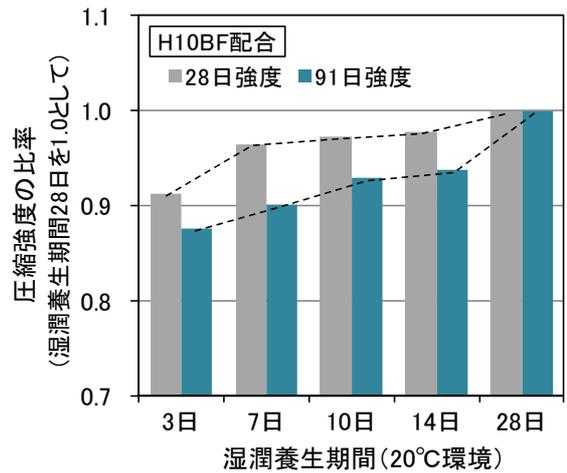


図-2 圧縮強度(湿潤養生期間別)

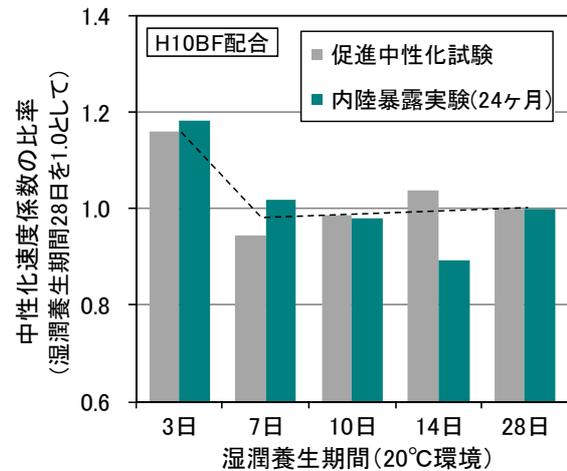


図-3 中性化速度係数の比較(湿潤養生期間別)

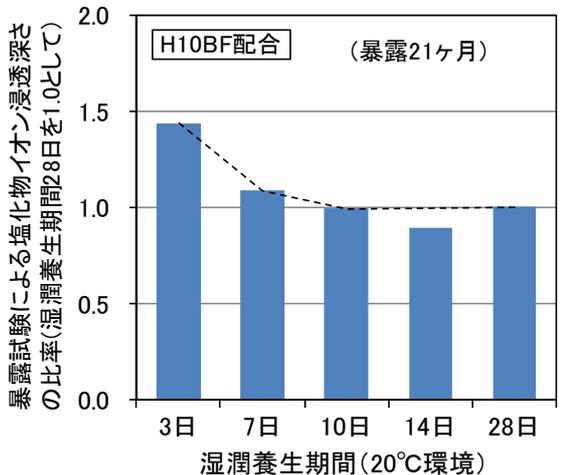


図-4 暴露試験による塩化物イオン浸透深さの比較(湿潤養生期間別)

表-3 BFSを用いたコンクリートの標準的な湿潤養生期間の規定

文献1)		文献2) 高炉スラグ微粉末4000を用いた場合			
日平均気温	混合セメントB種	日平均気温	30~40%置換	50%置換	55~70%置換
15℃以上	7日	17℃	6日以上	7日以上	8日以上
10℃以上	9日	10℃	9日以上	10日以上	11日以上
5℃以上	12日	5℃	12日以上	13日以上	14日以上