

高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの凍結融解抵抗性に与える湿潤養生期間と空気量の影響

西松建設株式会社 正会員 ○椎名貴快 フェロー会員 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 正会員 新谷 岳
株式会社フローリック 正会員 小池晶子 守屋健一
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

環境負荷低減や資源有効利用の観点から、ポルトランドセメントの代替として、CO₂排出原単位が少なく、潜在水硬性を有する高炉スラグ微粉末(写真-1)を高含有したコンクリートについて検討している¹⁾³⁾。

本稿では、湿潤養生期間や空気量の違いが高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの凍結融解抵抗性に与える影響について検討結果を報告する。



写真-1 高炉スラグ微粉末

2. コンクリート配合ケース

表-1にコンクリートの配合ケースを示す。著者らによるこれまでの研究から、コンクリートの水結合材比(W/B)は2水準(35%, 50%)で、セメント種類は各々早強ポルトランドセメント(H)及び普通ポルトランドセメント(N)とし、W/B一定(W固定)で高炉スラグ微粉末4000(無水せっこうをSO₃換算2.0%内添)(以下、BFS4000)をセメントに対して30%, 50%, 70%, 90%置換で使用した。化学混和剤[主剤]は、高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系化合物リグニンスルホン酸塩)及びAE減水剤(高機能タイプ)(リグニンスルホン酸塩、オキシカルボン酸塩とポリカルボン酸系化合物)を用いた。なお、空気量はいずれも4.5%とし、空気量調整剤(AE剤)で調整した。

表-1 コンクリート配合ケース

W/B (%)	W (kg/m ³)	セメント種類	BFS4000置換率(%)	化学混和剤[主剤]
35	163	H	30, 50, 70, 90	高性能AE減水剤
50	165	N	30, 50, 70, 90	AE減水剤(高機能タイプ)

H: 早強ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm³, 比表面積 4,500cm²/g)

N: 普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³, 比表面積 3,320cm²/g)

BFS4000: 高炉スラグ微粉末4000(密度 2.89g/cm³, 比表面積 4,440cm²/g, 無水せっこうをSO₃換算2.0%内添)

3. 実験結果

(1) 化学混和剤の使用量

図-1に20℃環境で空気量4.5%の時、同程度のワーカビリティや流動性を得るために必要な化学混和剤の使用量とBFS4000置換率の関係を示す。同図より、W/Bの違いによらず、BFS4000置換率が大いほど、化学混和剤[主剤]の使用量は減少し、一方で、空気量調整剤(AE剤)の使用量は増加した。これは、高炉スラグ微粉末の使用による単位水量の低減効果等による影響と推定される。

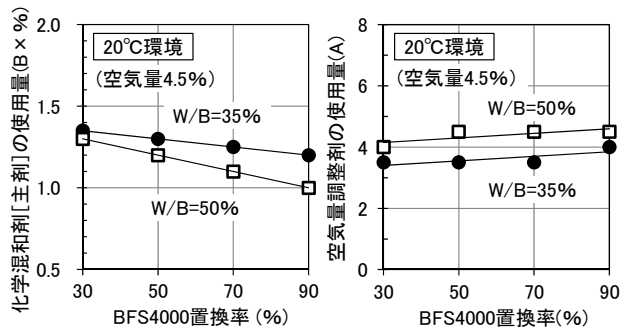


図-1 化学混和剤とBFS4000置換率の関係

(2) 凝結特性

図-2に凝結時間(始発から終結に至るまでの時間)とBFS4000置換率の関係を示す。同図より、W/Bが35%及び50%ともに、BFS4000置換率が70%以上になると凝結時間が遅延する傾向を示した。BFS4000中には刺激剤成分となる無水せっこうをSO₃換算で2.0%内添しているが、置換率70%以上では結合材に占めるポルトランドセメントの量が極めて少なくなり、凝結の遅延が顕著に現れたものと考えられる。

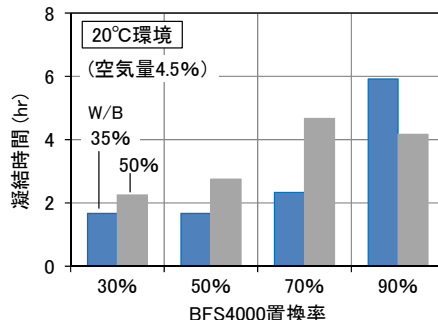


図-2 凝結時間とBFS4000置換率の関係

キーワード 高炉スラグ微粉末, 凍結融解抵抗性, 湿潤養生期間, 空気量, 気泡間隔係数, 耐久性指数

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

(3) ブリーディング率

ブリーディングは、BFS4000 置換率が大きいほど BFS4000 の反応が遅くなるため多くなった。しかし、ブリーディング率(20℃環境)は 1.0~2.5% 程度で、普通コンクリートに比べて特に多い量ではなかった。

(4) 圧縮強度

図-3 に材齢 7 日, 28 日での圧縮強度試験の結果を示す。同図より, BFS4000 置換率の増加とともに圧縮強度は小さくなり, 特に置換率 90% で 28 日強度の伸びが鈍化した。これは, BFS4000 の混和によりクリンカ量が減少したことで, クリンカの水和反応で生成される水酸化カルシウムが減少し, それによってさらに BFS4000 の反応も低下したためと考えられる。なお, 強度自体は全ての配合で 20N/mm² 以上を確保した。

(5) 気泡間隔係数

図-4 に気泡間隔係数(リニアトラバース法)と BFS4000 置換率の関係を示す。なおコンクリートの湿潤養生期間は 7 日である。同図より, W/B=50% の場合, 気泡間隔係数の値は全ての置換率で同程度の 250 μ 以下となり, 耐凍害性を確保する上で問題のない範囲であった。一方, W/B=35% の場合, 空気量 4.5% を導入しても BFS4000 置換率が大きいほど気泡間隔係数の値は緩やかに増加し, 特に 90% 置換では急激に大きくなった。以上より, W/B が小さく, BFS4000 置換率が大きい場合, 空気量 4.5% を導入しても気泡間隔係数の値は大きく, 耐凍害性の確保が難しい可能性がある。

(6) 耐久性指数(湿潤養生期間の違い)

図-4 で, 気泡間隔係数が大きく, 耐凍害性が劣ると推定された W/B=35%, BFS4000 置換率 90% 配合に対して, コンクリートの湿潤養生期間を 3 日, 7 日, 10 日, 14 日, 28 日とした時の 300 サイクル凍結融解試験による耐久性指数の結果を図-5 に示す。同図より, BFS 置換率が 90% でも, 湿潤養生期間が長いほど耐久性指数が向上することがわかった。しかし, 300 サイクルで所要性能(相対動弾性係数 60% 以上)を満足したのは湿潤養生期間 28 日のみで, この結果も基準をわずかに上回る程度であった。

(7) 耐久性指数(空気量の増量)

図-6 に, W/B=35%, BFS 置換率 90% の配合で, 湿潤養生期間 28 日として, 空気量を 4.5% から 5.5% に増加した時の耐久性指数を比較して示す。同図より, 空気量を増やすことで耐久性指数が大幅に改善した。また気泡間隔係数も 250 μ 以下で, こちらも同様に改善効果がみられた。

4. まとめ

気泡間隔係数の結果から, 20℃環境において, BFS4000 置換率が大きいほど凝結が遅延し, ブリーディングもやや増加するため, この間に凍結融解抵抗性に寄与する微細な空気が抜けた可能性があり, 特に W/B が小さい時に顕著であったと推定される。W/B が小さく, BFS4000 置換率が大きい場合, 湿潤養生期間を十分にとり, 空気量を 5.5% に増やす対策が凍結融解抵抗性の確保に有効であった。

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⁴⁾。

参考文献 1) 椎名貴快ほか: 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, 土木学会第 70 回年次学術講演会, V-487, pp.973-974, 2015.9, 2) 土師康一ほか: 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, 土木学会第 70 回年次学術講演会, V-486, pp.971-972, 2015.9, 3) 新谷 岳ほか: 高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの収縮特性に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会(投稿中), 4) 土木研究所・戸田建設・西松建設: 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(V), 2016.1

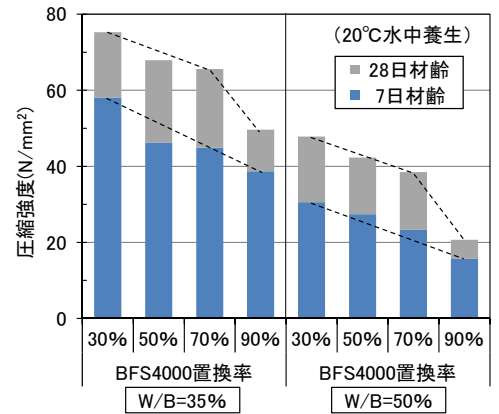


図-3 圧縮強度

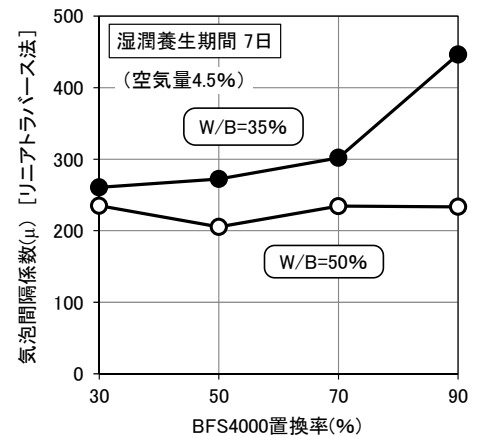


図-4 気泡間隔係数

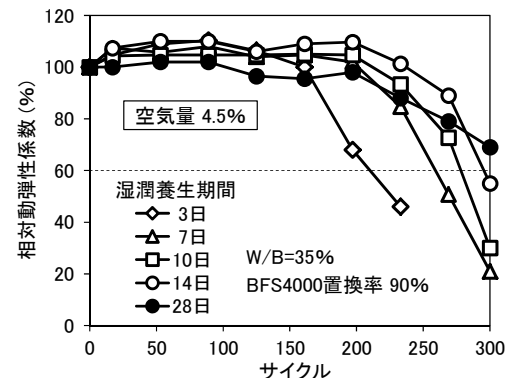


図-5 耐久性指数(湿潤養生期間の影響)

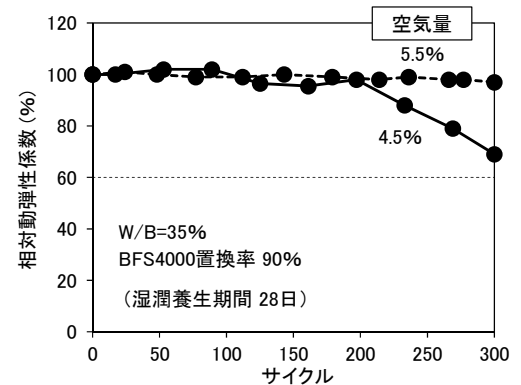


図-6 耐久性指数(空気量の増量効果)