

高エーライトクリンカーを用いた高炉セメントの諸特性

足利工業大学 学生会員 ○垂石 裕貴
 足利工業大学 正会員 宮澤 伸吾、横室 隆
 東京工業大学大学院 正会員 坂井 悦郎
 (株)デイ・シイ 鯉渕 清、二戸 信和、谷田貝 敦

1. はじめに

セメントの製造過程において発生するCO₂排出量は、国内総排出量の約4%と多大であり、その削減が重要な課題となっている。その解決方策として混合セメントの利用は極めて有効であり、特に、高炉セメントの利用拡大が期待されている。しかし、一般に使用されている高炉セメント B 種は、普通ポルトランドセメントと比べ強度発現が遅く、中性化速度が速い傾向があるため、RC 造建築物にはほとんど使用されていないのが現状である。そこで本研究では、普通ポルトランドセメントの代わりに幅広く使用可能な低炭素型汎用セメントを開発することを目的とし、高炉スラグ微粉末の比表面積及び置換率が異なる高炉セメントを試作し、これらの要因がコンクリートの諸特性に及ぼす影響について実験により検討を行った。

2. 試験方法

C₃S 量を通常より増大させ、69.3%としたクリンカーを実機プラントで製造し、高炉スラグ量(BF量)を0~25%の範囲で混合した高炉セメントを試作した。すなわち、表1に示すセメント No.1 に高炉スラグ微粉末(比表面積を 3000~8000cm²/g)を 15~25%の範囲で混入した高炉セメントを用いた。細骨材には川砂、粗骨材には硬質砂岩碎石を用いた。混和剤は、AE 減水剤を用いた。

表-2 にコンクリートの示方配合を示す。水セメント

比は、55%一定とした。目標スランプは 18±2.5cm とし、単位水量によりスランプの調整を行った。

スランプ試験では、JISA1101 に従い、練上がり後の経過時間 0 分、30 分、60 分、90 分においてスランプを測定した。コンクリートの圧縮強度試験では、JISA1108 に従い 10℃、20℃の水中養生とし、材齢 1 日、3 日、7 日、28 日、91 日について実施した。凝結時間試験では、JISA1147 に従い、貫入抵抗値が 3.5N/mm²の始発時間と 28.0N/mm²の終結時間を測定した。促進中性化試験では、JISA1153 に従い、二酸化炭素濃度 5±0.2%の環境で促進期間 26 週まで測定を行った。凍結融解試験では、JISA1148 に従い、300 サイクルまでの相対動弾性係数及び質量を測定した。乾燥収縮試験では、材齢 7 日まで水中養生したコンクリート供試体を、相対湿度 60%、20℃室内で乾燥させ、長さ変化の測定を行った。また、自己収縮試験も行った。

表-1 試作セメントの概要

セメントの種類	高炉スラグ量(%)	比表面積(cm ² /g)
OPC	0	3470
No.1	0	4800
No.2	20	3000
No.3	20	4000
No.4	20	6000
No.5	20	8000
No.6	15	8000
No.7	25	8000

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	W/C(%)	s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤 (ml)	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(°C)
			水	セメント	細骨材	粗骨材				
OPC	55	46	180	327	812	957	3.273	20.0	5.3	23.0
No.1	55	46	185	336	801	944	3.364	17.0	4.1	24.0
No.2	55	46	180	327	808	952	3.273	18.5	4.0	23.0
No.3	55	46	180	327	808	952	3.273	20.0	5.0	23.5
No.4	55	46	180	327	808	952	3.273	19.5	4.2	23.0
No.5	55	46	180	327	808	952	3.273	20.5	5.2	23.0
No.6	55	46	180	327	808	952	3.273	18.5	4.8	23.5
No.7	55	46	180	327	807	951	3.273	17.5	3.7	24.0

キーワード 高炉セメント, 高炉スラグ微粉末, スランプ, 圧縮強度, 収縮ひずみ

連絡先 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 足利工業大学 TEL:0284-62-0605 E-mail:smiyazaw@ashitech.ac.jp

3. 試験結果

3.1 スランプ試験結果

表-2 より、高エーライトのセメントを用いた場合の単位水量は、高炉スラグを混入することで減水可能で、高炉スラグ無混入の No.1 より小さくなり、OPC と同等だった。

図-1 より、高炉スラグ微粉末の比表面積を 3000~8000(cm²/g)とした高炉セメントを用いたコンクリートのスランプ保持性は、OPC を用いた場合と同等程度だった。また、市販の高炉セメント A 種(BA,既往のデータ)と比較すると、スランプロスは小さくなっている。

3.2 圧縮強度結果

図-2 及び図-3 は、20℃養生したコンクリートの圧縮強度について、高炉スラグ微粉末の比表面積の影響及び BF 量の影響をそれぞれ示したものである。また、図-4 及び図-5 は、10℃養生したコンクリートの圧縮強度の結果である。

図-2 より、BF 量が多い高炉セメントほど初期強度が低くなる傾向が見られる。材齢 3 日までの強度を見ると、BF 無混入のセメントより強度は低くなる。しかし、材齢 1 日で OPC 以上の強度は既に出ている。また、BF 無混入のセメントと比較して、BF 量が多いほど圧縮強度は大きくなり、材齢 91 日で OPC の材齢 28 日以上の強度が出ている。図-4 の 10℃養生の結果でも同じ傾向が見られる。

図-3 より、高炉スラグ微粉末の比表面積が大きいほど圧縮強度が高くなり、材齢が経つほど傾向は大きくなる。比表面積 6000(cm²/g)以上では材齢 7 日で、OPC の材齢 28 日を上回る強度が出ている。

図-5 の 10℃養生したコンクリートの結果からも似た

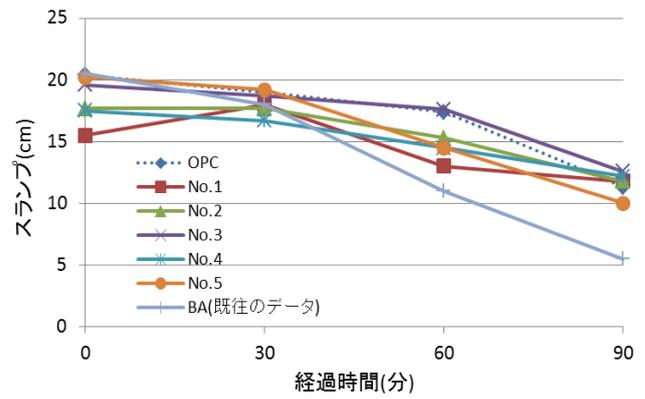


図-1 スランプの経時変化

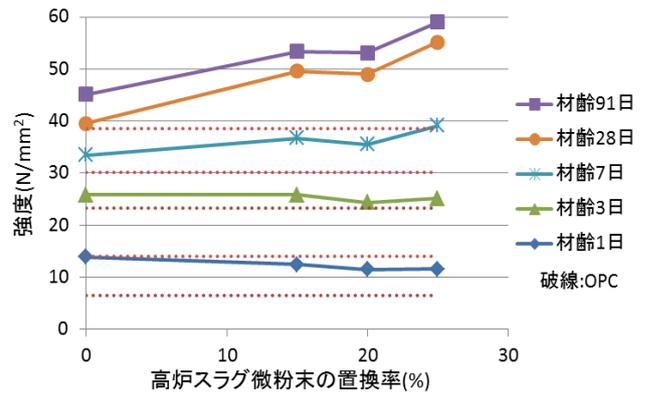


図-2 置換率と圧縮強度の関係 (20℃、比表面積:8000)

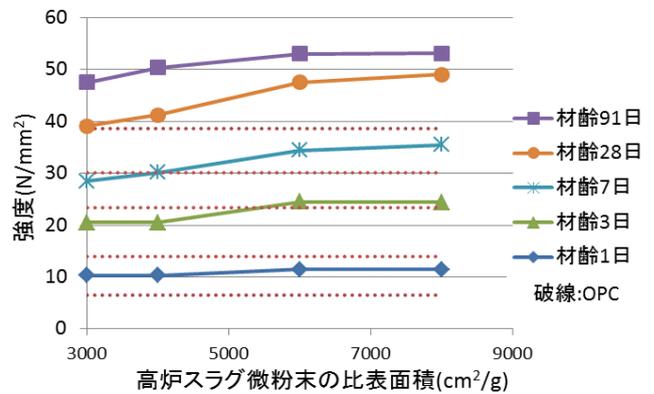


図-3 比表面積と圧縮強度の関係 (20℃、BF 量 20%)

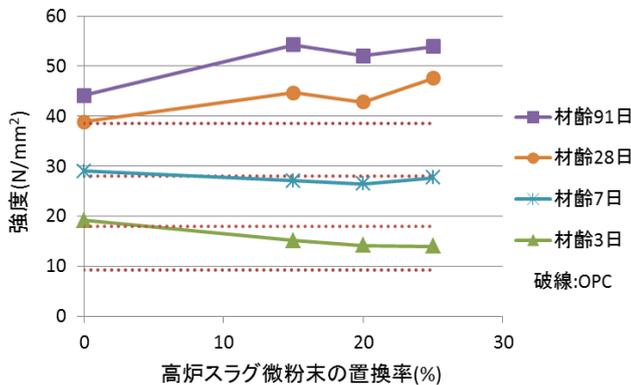


図-4 置換率と圧縮強度の関係 (10℃、比表面積:8000)

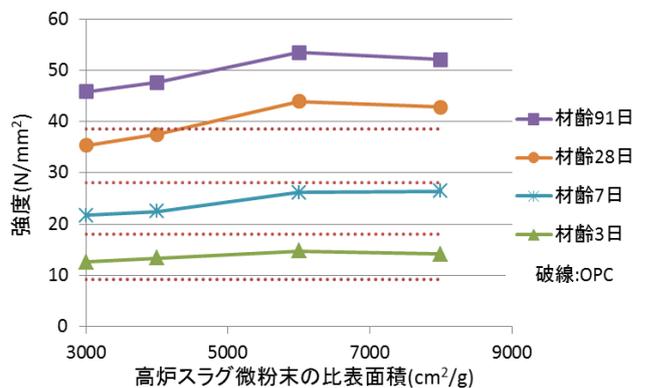


図-5 比表面積と圧縮強度の関係 (10℃、BF 量 20%)

ような傾向があり、材齢 3 日から OPC 以上の強度が得られている。

3.3 凝結試験結果

図-6 は、BF 量、比表面積の違いが始発時間及び終結時間に及ぼす影響を示したものである。OPC と比較すると、高炉スラグが混入されている No.2~No.5 の始発時間及び終結時間は、いずれも約 30 分程度早い結果になった。ここでは、高炉スラグ微粉末の比表面積による影響はあまり見られなかった。

3.4 促進中性化試験結果

図-7 は、促進期間 13 週まで行った促進中性化試験の結果から求めた中性化速度係数を示したものである。高炉スラグが混入されている No.2~No.7 を用いたコンクリートの中性化速度は、OPC より若干速くなるケースもあったが、全体的に見れば大差はないと考えられる。

3.5 凍結融解試験結果

図 8~10 は、300 サイクルまで行った凍結融解試験の結果を示している。

図-9 より、BF 無混入の場合は 44 サイクル、比表面積 3000(cm²/g)のセメントは 155 サイクル、比表面積 4000(cm²/g)のセメントは 226 サイクルで、相対動弾性係数が 60%以下になった。高炉スラグ微粉末の比表面積が 6000(cm²/g)以上のセメントは、OPC 以上の数値が得られました。図-10 の耐久性指数を示した図も同様に、OPC と比較すると、比表面積 4000(cm²/g)以下だと低くなる傾向が見られました。なお図-8 に示した質量変化率の測定結果からも、同様の傾向が認められた。

3.6 収縮試験結果

図-11 及び図-12 は、始発から測定を開始した自己収縮ひずみについて、BF 量及び比表面積の影響を示した

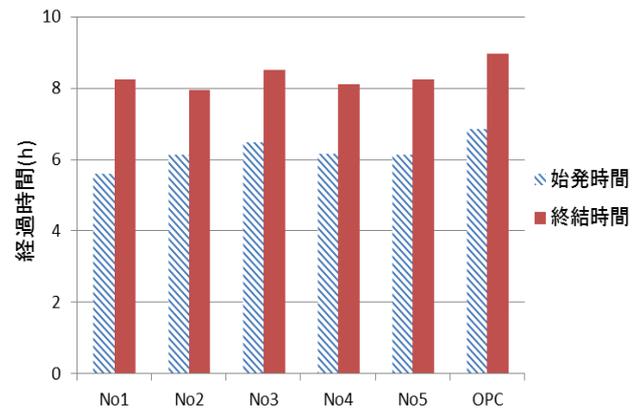


図-6 始発及び終結時間

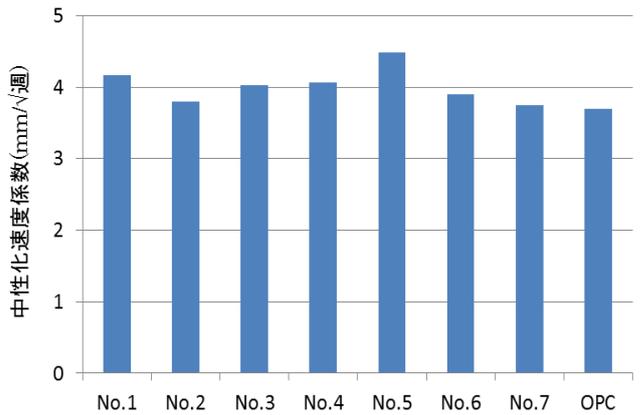


図-7 中性化速度係数

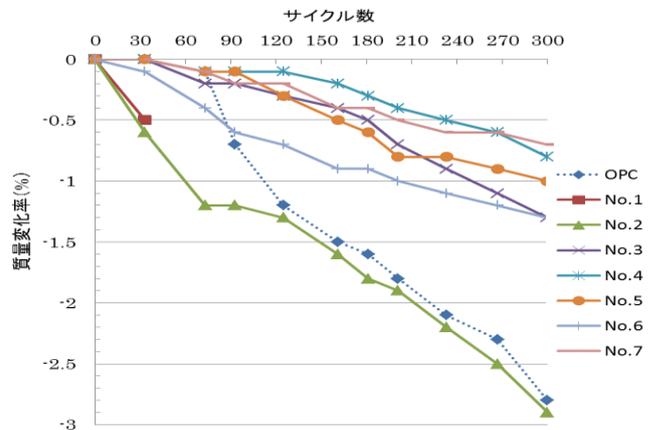


図-8 質量変化率

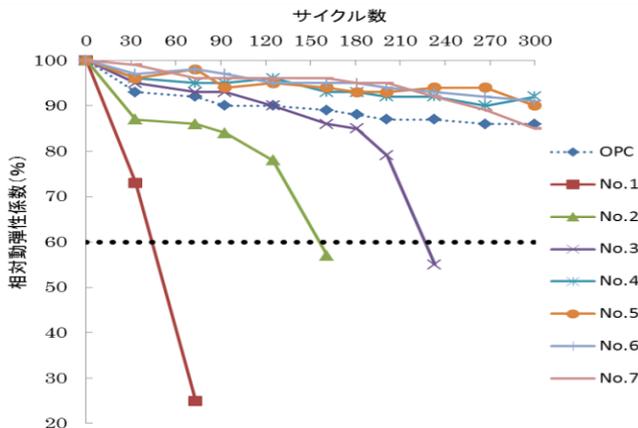


図-9 相対動弾性係数

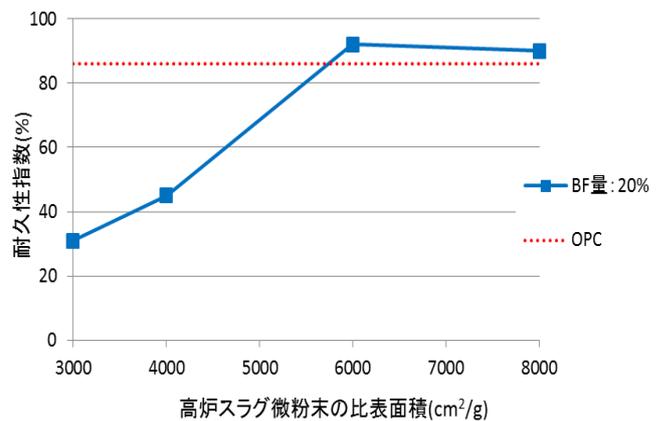


図-10 耐久性指数

ものである。図-13 及び図-14 は、材齢 7 日まで水中養生し、その後、室内で乾燥させた供試体の収縮ひずみを示したものである。

図-11 より、高炉スラグ微粉末の比表面積が $8000(\text{cm}^2/\text{g})$ の場合で、BF 量の影響を見ると、BF 量 20% 程度までは、BF 量が多いほど自己収縮ひずみは大きい。BF 量 20% の場合、OPC と比較するとひずみが約 $90(\times 10^{-6})$ 大きくなっている。

図-12 より、BF 量 20% で比較すると、高炉スラグの比表面積が大きいほど自己収縮ひずみは徐々に大きくなっている。比表面積 $3000(\text{cm}^2/\text{g})$ と $8000(\text{cm}^2/\text{g})$ を比較すると、約 $80(\times 10^{-6})$ 近い差が生じている。

図-13 より、OPC と比較して、BF 量によらず乾燥収縮ひずみは若干小さくなっている。

図-14 より、比表面積によらず、乾燥収縮ひずみに大きな違いが見られず、また、OPC と同等の乾燥収縮ひずみとなっている。

4. まとめ

C_3S 量を通常より増大させ、高炉スラグの比表面積を $3000\sim 8000(\text{cm}^2/\text{g})$ に調整し、BF 量 15~25% の高炉セメントを試作し、コンクリートの諸特性について検討した。その結果、 C_3S 量の多い高炉セメントを用いることによって、高炉セメントの強度発現性を改善でき、低温でも改善が見られた。高炉スラグの比表面積を大きくすることでさらに、強度改善が見られた。高炉スラグの比表面積にかかわらず高炉セメントコンクリートの単位水量及びスランプ保持性は OPC と同等であった。凝結時間は、高炉スラグ混入で OPC より若干遅くなった。凍結融解試験では、高炉スラグの比表面積を大きくすることで OPC 以上の耐久性を得ることが出来た。自己収縮では、高炉スラグ混入で OPC より大きくなった。しかし、乾燥収縮ひずみは、OPC と同等であった。

今後、低炭素型汎用セメントを実用化し、幅広い建築構造物に利用することで、 CO_2 削減に貢献したい。

謝辞：本研究は、低炭素型汎用セメント技術研究会の活動の一環として行ったものであり、ご協力いただいた関係各位に感謝致します。

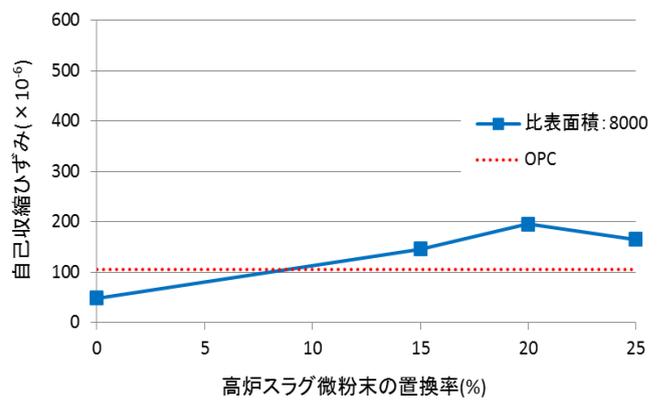


図-11 置換率と自己収縮ひずみの関係(材齢 110 日)

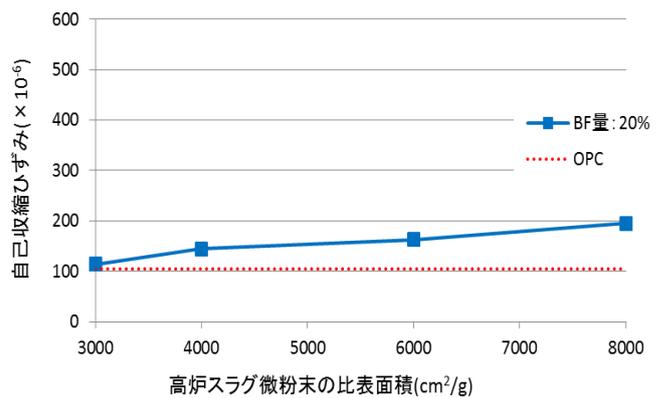


図-12 比表面積と自己収縮ひずみの関係(材齢 110 日)

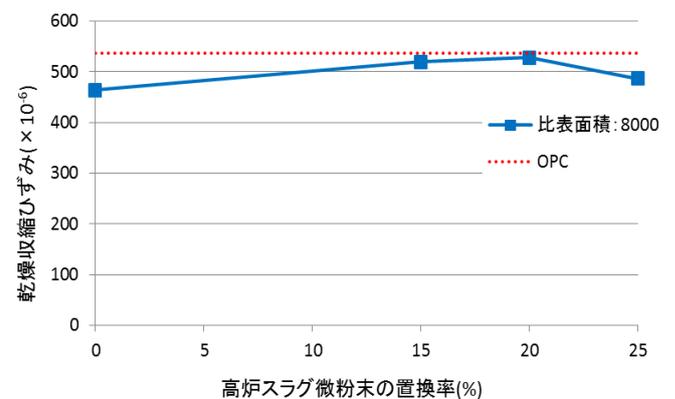


図-13 置換率と乾燥収縮ひずみの関係
(乾燥期間 83 日)

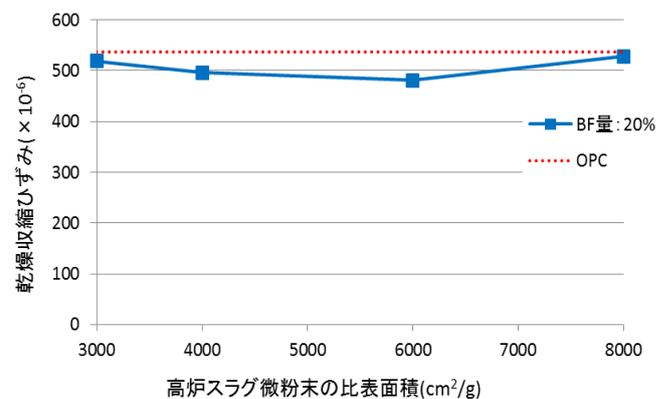


図-14 比表面積と乾燥収縮ひずみの関係
(乾燥期間 83 日)