

各種高炉セメントの空隙構造と強度発現に及ぼす養生温度の影響

前橋工科大学 学生会員 ○小林 日高
前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. はじめに

近年、環境負荷低減対策として高炉セメントの使用が推進されている。高炉セメントは普通セメントに比較して石灰石・エネルギーの消費が少なく、石灰石の焼成に起因する二酸化炭素の排出量を低減できる。普通セメント製造時のCO₂排出量は769kg/tであるのに対して、高炉セメントB種製造時のCO₂排出量は460kg/tであり、年間約350万tのCO₂削減に貢献している¹⁾。

JIS規格では、高炉セメントはスラグの分量によってA、B、C種に分類される。現在使用されている高炉セメントの多くは、高炉セメントB種である。しかし、高炉スラグの分量が大きくなるにつれて二酸化炭素の排出量は減少することから、用途に応じて高炉セメントA種、C種を使用することが求められている。しかし、高炉セメントA種、C種のデータは少なく、各種高炉セメントに及ぼす養生温度の影響に関する検討も少ないのが現状である。

そこで本研究では、高炉セメントA種、C種を含めた各種高炉セメントの空隙構造及び強度発現性を測定し、高炉セメントの強度発現に及ぼす養生温度の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では、普通セメント(OPC)、無水石こう入り高炉スラグ微粉末(BFS)を用いた。

実験に用いたセメントは、表1に示す通り、N、NにBFSをそれぞれ内割で25、45、65%置換した高炉セメントBA、BB、BCの合計4種類とした²⁾。

表1 セメントの種類と配合(単位: %)

	OPC	BFS
N	100	-
BA	75	25
BB	55	45
BC	35	65

2.2 試験方法

(1) モルタル圧縮強度

水結合材比50%のJISモルタルを作製し、圧縮強度を測定した。供試体はφ50×100mmの円柱とし、養生条件は20℃および40℃の水中養生とした。ただし、いずれもモルタルの作製は20℃にて行い、24時間の封緘養生を所定の温度とした。

(2) 強熱減量および空隙率

NとBA、BB、BCのペーストを作製し、40×55mmのチャック付きポリ袋に薄板状に成型した。養生条件は20℃および40℃の水中養生とした。ただし、いずれもペーストの作製は20℃にて行い、24時間の封緘養生を所定の温度とした。ペーストの作製には蒸留水を用いた。水和試料は多量のイソプロパノールにて水和停止させ、40℃および105℃24時間の乾燥後、40℃乾燥試料を遊星ミルにて微粉碎した。微粉碎後の試料をNは950℃、BA、BB、BCは900℃で30分加熱し、強熱後の質量に対する減量を強熱減量として求めた。ペースト試料の表乾質量から40℃および105℃24時間乾燥質量の減量を吸水率として測定し、ペーストの理論配合と強熱減量から硬化体の空隙率を算定した。ここで毛管空隙は40℃乾燥逸散水のもつ空隙、ゲル空隙は40℃では逸散しないが105℃乾燥で逸散する水の持つ空隙とそれぞれ定義した。測定材齢は3、7、28、91日とした。

(3) 粉末X線回析(XRD)

強熱減量試験で用いた40℃乾燥試料および強熱減量後の試料のXRD測定を実施した。40℃乾燥試料はN、BA、BB、BCの4試料、強熱減量後の試料はNを除いた3試料を測定した。

3. 実験結果および考察

図1に20℃および40℃におけるモルタル圧縮強度を、図2にそれぞれのスラグ置換率とNと比較した強度比を示す。20℃において、材齢3、7日ではスラグ置換率の増加に伴いNと比較した強度比は低下した。材齢28

日では N と各高炉セメントは同程度の強度となり、材齢 91 日では全ての高炉セメントで N の強度を上回った。一方 40℃では、20℃のようなスラグ置換率の増加に伴う初期強度の低下は抑制され、材齢 91 日ではスラグ置換率の増加に伴い強度は増大した。

図 3 に 20℃と比較した 40℃の強度比を示す。材齢 3 日では、20℃と比較した 40℃の強度は N で 1.4 倍程度であるのに対し、BA は 1.9 倍、BB は 2.3 倍、BC は 2.4 倍程度となり、N に比較して高炉スラグの水和反応の温度依存性は高いと考えられる。また、全てのセメントで材齢の経過により強度比は低下し、材齢 28 日で 20℃と 40℃の強度は同程度となった。材齢 91 日では BC を除いた N, BA, BB で 20℃の強度が高かったが、BC は 40℃の強度が高かった。

図 4 に 20℃および 40℃における毛管空隙率、強熱減量とモルタル圧縮強度の関係を示す。図中の白抜きが 40℃のデータである。毛管空隙率の減少と強熱減量の増大に伴い圧縮強度は高くなり、かつ、その関係はセメントの種類や養生温度によらず一定となった。したがって、本研究の範囲内で、圧縮強度はセメントの種類や養生温度によらず毛管空隙率により一義的に定まった。

4. まとめ

- (1)20℃では、高炉セメントの強度は、材齢 3 日でスラグ置換率の増加に伴い低下し、材齢 28 日で N と同程度、材齢 91 日で N を上回った。
- (2)40℃では、20℃と比較すると高炉セメントの初期強度の低下は抑制され、材齢 91 日でスラグ置換率の増加に伴い強度は増大した。
- (3)20℃と比較した 40℃の強度比は、材齢 3 日でスラグ置換率の増加に伴い増大し、材齢 28 日で全てのセメントが同程度、材齢 91 日では BC のみ 1 を上回った。
- (4)本研究の範囲内で、圧縮強度はセメントの種類や養生温度によらず毛管空隙率で一義的に定まった。

参考文献

- 1)鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用 (2017 年版)
- 2)佐川孝広，門間永悟：高炉セメントの水和物組成と空隙構造特性に及ぼすスラグ置換率の影響，第 72 回セメント技術大会講演要旨，2018

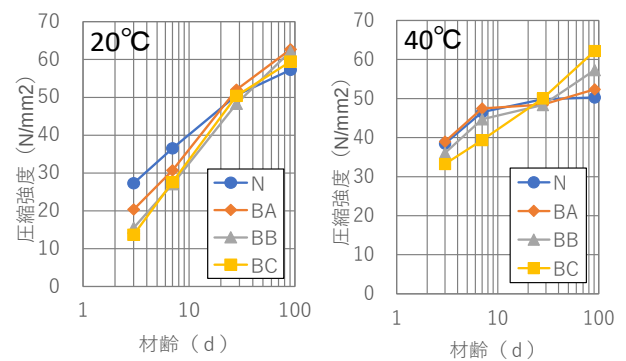


図 1 材齢とモルタル圧縮強度の関係

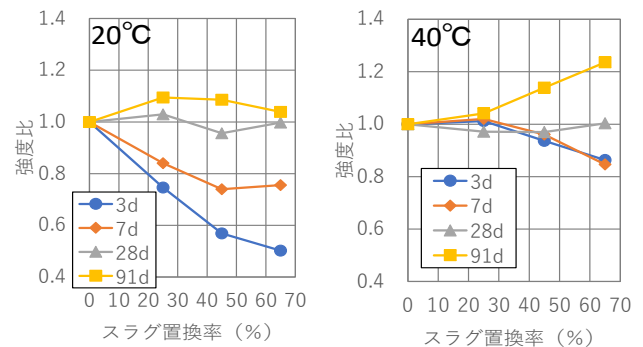


図 2 スラグ置換率と N との強度比の関係

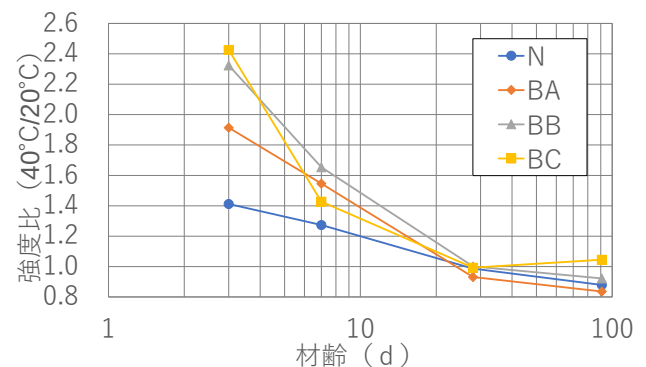


図 3 材齢と強度比 (40℃/20℃) の関係

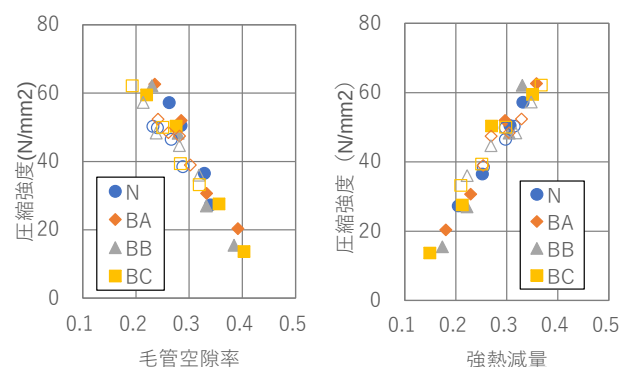


図 4 毛管空隙率および強熱減量とモルタル圧縮強度の関係