

養生温度が高炉セメントの強度発現と空隙構造に及ぼす影響

前橋工科大学 学生会員 ○田中 拳太郎

前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. はじめに

高炉セメントは産業廃棄物の有効利用、CO₂排出量削減の観点から利用拡大が望まれている。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、高炉セメントは高炉スラグ微粉末(以下、高炉スラグまたはスラグ、BFS)の分量によってA、B、C種に分類される。我が国で流通する高炉セメントは、スラグの置換率が40-45%程度の高炉セメントB種(BB)が大半だが、適材適所の概念で広範なスラグ置換率の高炉セメントを適用するべく、高炉セメントA種(BA)やC種(BC)に関する検討も進められている。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種を含めた高炉セメントの強度発現及び空隙構造を測定し、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(N)、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(%)

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

2.2 実験方法

(1) 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のチャック付ポリ袋に薄板状に成型した。養生条件は5、20、40℃の水中養生とした。ただし、ペーストの作製はいずれも20℃にて行い、成型後、所定の温度における養生を直ちに開始した。20、40℃は24時間、5℃は48時間の封緘養生後に脱型した。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。

(2) 粉末X線回折(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試料を各材齢で測定した。

(3) 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5、20、40℃の水中養生とした。ただし、モルタルの作製はいずれも20℃にて行い、成型後、所定の温度における養生を直ちに開始した。20、40℃は24時間、5℃は48時間の封緘養生後に脱型した。

3. 実験結果および考察

図1に5, 20, 40℃におけるモルタル圧縮強度を, 図2にスラグ置換率とNと比較した強度比との関係をそれぞれ示す. 5℃で養生した高炉セメントはいずれの材齢もNの強度を下回った. 20℃では, 材齢28日でNと各高炉セメントは同程度の強度となり, 材齢91日ではすべての高炉セメントがNの強度を上回った. 40℃では, スラグ置換率の増大に伴う初期強度の低下が抑制され, 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. 以上の結果から高炉セメントの強度発現は温度依存性が高いことが分かる.

図3に結合水量, 毛管空隙量とモルタル圧縮強度の関係を示す. 結合水量と圧縮強度の関係は, セメント種類や養生温度を問わず高い相関が認められた. 結合水量はセメント水和反応の進行程度を表す物理量であり, 同一の結合水量であれば, 養生温度やセメント種類を問わず概ね同程度の圧縮強度を示すと考えられる. また, 空隙量についても, 同様に圧縮強度を支配する主要因になることも考えられる. 一般に空隙量と圧縮強度には相関があり^{2,3)}, 本実験においても, セメントの種類によらず毛管空隙量の減少に伴い圧縮強度は増大した. しかし, 毛管空隙量と圧縮強度の関係は, 養生温度でやや傾向が異なり, 同一の圧縮強度で比較すると, 5℃養生では毛管空隙量は多く, 40℃養生では少なく測定された. これは, 本研究では, 40℃乾燥での逸散水量を毛管空隙量と定義しているが, 40℃乾燥での逸散水量は空隙量のみならず空隙構造にも依存し, 養生温度の違いにより空隙構造が変化し, 毛管空隙量の測定値に影響を及ぼすことが一因と考えられる.

4. まとめ

- (1)5℃では, 高炉セメントの強度はスラグ置換率に関わらず, 材齢が経過してもNを下回った.
- (2)20℃では高炉セメントの初期強度の低下はみられるが, 材齢28日でNと同程度の強度となり, 材齢91日で全ての高炉セメントがNの強度を上回った.
- (3)40℃では5, 20℃に比べると高炉セメントの初期強度の低下が抑制され, 材齢91日でスラグ置換率の増加に伴い強度は増大した.

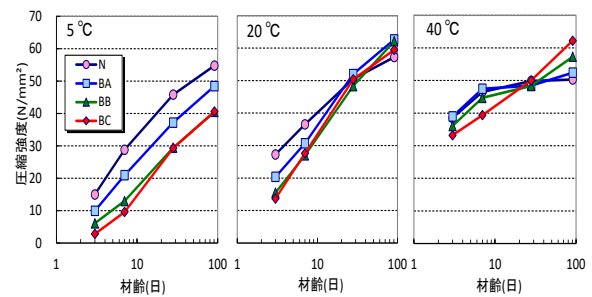


図1 材齢とモルタル圧縮強度の関係

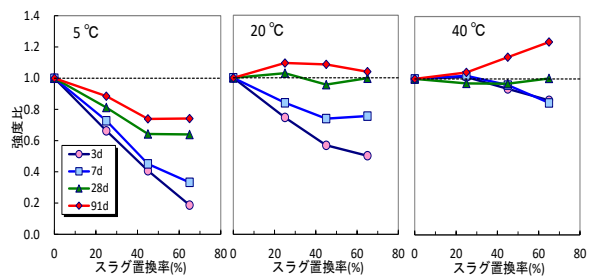


図2 スラグ置換率とNとの強度比の関係

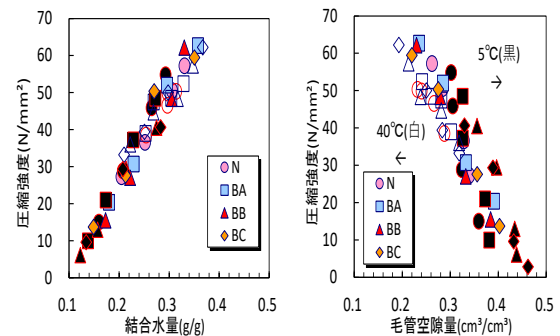


図3 結合水量および毛管空隙量とモルタル圧縮強度の関係

- (4)本実験の範囲内で, セメントの種類や養生温度によらず圧縮強度は結合水量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, 小林日高：高炉セメントの水和反応と空隙構造形成に及ぼす養生温度の影響, コンクリート工学年次文集, Vol.42, No.1, pp.11-16, 2020
- 3)伊代田岳史, 兼安真司, 檀康弘, 前田悦孝：高炉スラグ微粉末を高含有したセメントの温度依存性, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.139-144, 2005