

各種高炉セメントの空隙構造と強度発現性の評価

前橋工科大学 学生会員 ○門間 永悟
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と比較して石灰石・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、より多くの高炉スラグを使用することが求められている。

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および強度発現性を測定し、高炉セメントの強度発現性に及ぼす空隙構造の関係を明らかにすることを目的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と水和試料の調整

本研究では、普通セメント(OPC)、無水石膏入りの高炉スラグ微粉末4000(BFS)、高炉スラグ高含有セメント(ECM)を用いた²⁾。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およびECMの合計5種類とした。水セメント比は50%とした。

セメントペーストはハンドミキサーにて2分間混練し、4×4×16cmの鋼製型枠に成型し20°Cで1日間封緘養生を行った。脱型後厚さ3mmに切断し、20°C水中にて所定の材齢まで養生した。各測定の際の材齢は3、7、28、91日とした。

2.2 XRD試験および強熱減量試験

水和試料は多量のアセトンにて水和停止させ、40°C24時間の乾燥を行った。乾燥後の試料は遊星ミルにて微粉碎した。微粉碎後の試料を900°Cで30分間加熱し、強熱後の質量に対する減量を高炉セメント系の強熱減量とした。Nの強熱減量は、975°Cでの強熱後の質量に対する減量として求めた。粉碎後の試料はそれぞれXRD測定を行った。

2.3 空隙率およびモルタル圧縮強度

4×4×3cmペースト試料の表乾質量から40°Cおよび105°C24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³⁾。ここで、毛管空隙は40°C乾燥逸散水のもつ空隙、ゲル空隙は40°Cでは逸散しないが105°C乾燥で逸散する水のもつ空隙とそれぞれ定義した^{3,4)}。また、5号珪砂を細骨材比2で用いたモルタルの圧縮強度を測定した。供試体はφ5×10cmの円柱とし、養生条件は20°C封緘にて行い、測定材齢はペースト供試体と同様とした。

3. 実験結果および考察

図1、2に材齢と各空隙率との関係を示す。材齢が進むにつれて毛管空隙率は減少したのに対して、ゲル空隙率は増加した。また、スラグ置換率の増加に伴い、材齢が進むにつれて毛管空隙率は大きく減少し、ゲル空隙率は増加することが確認された。

図3に材齢91日のXRD測定結果を示す。無水石膏(CS)が反応し生成したAFt(エトリンサイト)は、反応途中で石膏が全て消費された時点でAFm(モノサルフェート)に転移する。91dにおいてECMのみ9度付近に

表1 セメントの種類と配合(単位:%)

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

キーワード 普通セメント、高炉セメント、高炉スラグ高含有セメント(ECM)、空隙率

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460番地1 TEL:027-265-0111 FAX:027-265-3837

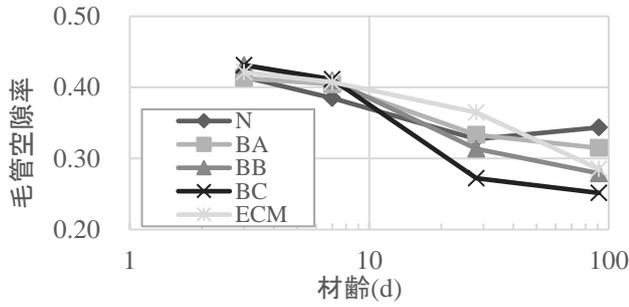


図1 材齢と毛管空隙率の関係

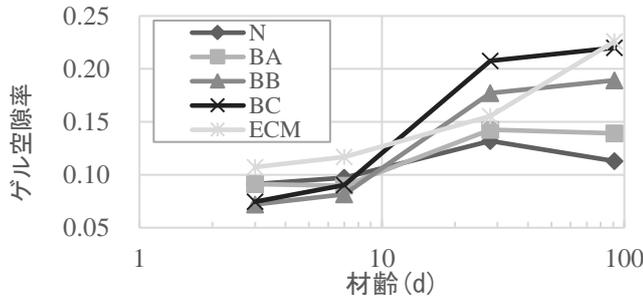


図2 材齢とゲル空隙率の関係

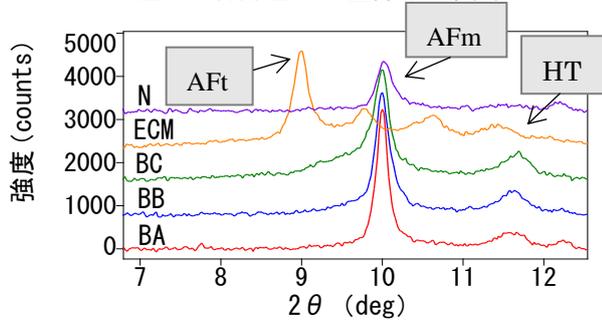


図3 材齢91日のXRD測定結果

表2 Nの圧縮強度

材齢 (d)	3	7	28	91
圧縮強度 (N/mm ²)	23.2	35.1	47.1	53.3

AFtのピークが確認できるのに対し、その他のセメントでは28d以降でピークは認められなかった。また、AFmのピークは、Nより高炉セメントが高いことが確認できた。その他、高炉セメントのみ11.5度付近にHT(ハイドロタルサイト)のピークが確認できた。これらのことから、スラグ置換率の増加に伴い認められた毛管空隙率の減少およびゲル空隙率の増加の要因は、反応生成物の違いが挙げられる。

表2にNの圧縮強度試験結果、図4にスラグ置換率とNとの強度比の関係を示す。3, 7dではスラグ置換率の増加に伴い圧縮強度は直線的に低くなる結果となった。一方でBAは28d, BBおよびBCは91dでNとの強度比が1を上回った。高炉セメントの「初期の強度発現性は小さいが、長期強度は増大する」という、特徴的な強度発現性が見られた。

図5に毛管空隙率と圧縮強度との関係を示す。毛管

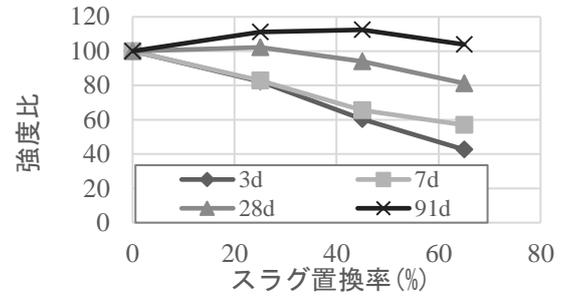


図4 スラグ置換率とNとの強度比の関係

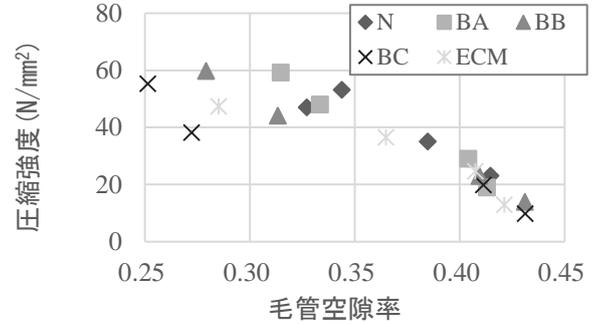


図5 毛管空隙率と圧縮強度の関係

空隙率の減少に伴い圧縮強度が増加することが見て取れる。したがって、ややばらつきは認められるものの、セメントの種類に関わらず毛管空隙率によって圧縮強度は一義的に決まると考えられる。

4. まとめ

- (1) 全試料において、材齢が進むにつれて毛管空隙率は減少し、ゲル空隙率は増加した。また、スラグ置換率の増加に伴い、それらの傾向は強くなった。
- (2) N, BA, BB および BC は材齢初期で AFt から AFm に転移したが、ECM のみ長期でも AFt が確認された。また、高炉セメントに N とは異なる反応生成物が確認された。
- (3) ややばらつきは認められるものの、セメントの種類に関わらず毛管空隙率によって圧縮強度は一義的に決まると考えられる。

参考文献

- 1) 鐵鋼スラグ協会: 鐵鋼スラグの高炉セメントへの利用 (2017年版)
- 2) 米澤敏男, 坂井悦郎ほか: コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.69-73, 2010
- 3) 佐川孝広, 名和豊春: 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.652, pp.1029-1037, 2010
- 4) 佐川孝広, 石田哲也ほか: 土木学会論文集 E, Vol.66, No.3, pp.311-324, 2010