

## 高炉スラグ微粉末の置換率及びガラス化率が ASR 抑制効果に与える影響

○九州大学工学部 学生会員 草場博美 九州大学大学院 フェロー 松下博通  
 九州大学大学院 学生会員 川端雄一郎 九州大学大学院 学生会員 相馬良太  
 新日鐵高炉セメント(株) 正会員 前田悦孝

### 1. 背景・目的

高炉スラグ微粉末 (BFS) の混入は ASR の抑制に有効なことが知られているが、その効果は環境条件やスラグの品質によって変化する。そこで、本研究は試験環境と BFS の非晶質相の割合に着目した実験を行った。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料および配合

表-1 に使用した材料を示す。表中の失透スラグ微粉末とは高炉スラグを徐冷し、ガラスを結晶化させたものを微粉碎したものである。BFS は 100%ガラスであると仮定し、この失透スラグ微粉末と併用することで BFS 中の非晶質相の割合を 0, 25, 50, 75, 100%と変化させた。これを以後「見かけのガラス化率」とする。モルタルの配合は BFS 無添加のもので W/C=45% (水粉体容積比  $w/c=1.58$ ) とし、水粉体容積比一定のもとで BFS 置換率はセメントに対して 10, 20, 30, 50, 70%体積置換とし、 $4 \times 4 \times 16$ (cm)のモルタルを作製した。モルタルバー法では全アルカリ量が  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  で 1.2%となるように NaOH 水溶液を加えて調整した。デンマーク法ではアルカリ量は調整しなかった。

表-1 使用材料

材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント(JIS A 1146) 密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ , 比表面積 $3280\text{cm}^2/\text{g}$
高炉スラグ微粉末 失透スラグ微粉末	密度 $2.90\text{g}/\text{cm}^3$ , 比表面積 $4070\text{cm}^2/\text{g}$ 塩基度1.83
細骨材	輝石安山岩砕砂 絶乾密度 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ , 吸水率3.46%

#### 2.2 試験方法

##### (1) モルタルバー法 (JIS A 1146 法)

脱型時の長さを基長とし、温度  $40^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上の条件下で養生させ、長さ変化を 182 日間計測した。

##### (2) デンマーク法

脱型時の長さを基長とし、温度  $50^\circ\text{C}$ の飽和 NaCl 溶液に浸漬させた条件下で養生させ、長さ変化を 91 日間計測した。

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 膨張率の経時変化

図-1 に BFS を混入したモルタルの膨張率の経時変化を示す。モルタルバー法では、置換率の増加に伴い膨張率の収束時期が早くなり、全膨張率も減少している。また、デンマーク法では、モルタルバー法に比べ同じ置換率のものでも膨張し始める時期が遅い。これはデンマーク法ではアルカリは外部からの塩分浸透に起因しているためであり、デンマーク法での ASR 抑制効果は塩分浸透抵抗性に大きく影響されると考えられる。

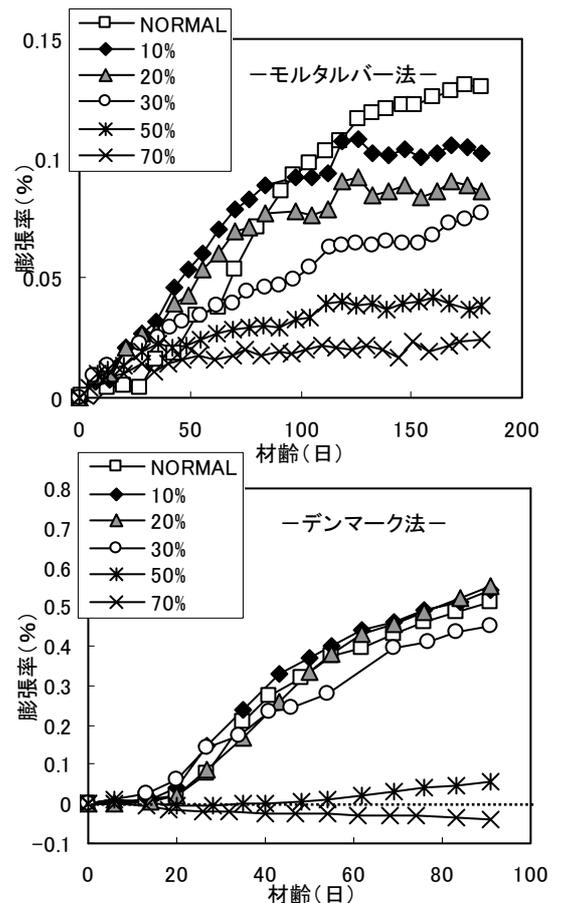


図-1 膨張率の経時変化

#### 3.2 置換率と無混和に対する膨張率の比の関係

図-2 に置換率と膨張率比 (無混和に対する膨張率の比) の関係を示す。モルタルバー法は 182 日後、デンマーク法は 91 日後の膨張率の値を用いて膨張率比を求めた。モルタルバー法においては、置換率の増加とともに膨張率比は直線的に減少し、置換率 30%では ASR 抑制効果が見られるが、デンマーク法においては

置換率 30% ではほとんど ASR 抑制効果は見られず、50%以上置換で ASR 抑制効果が見られる。以上のことから試験環境の違いによって置換率が同じであっても ASR 抑制効果に違いが現れることがわかった。また、デンマーク法では 30~50%置換の間に膨張率比の急激な変化があることから、ASR 抑制には置換率を大きくする必要がある。

3.3 見かけのガラス化率と膨張率の関係

図-3 に見かけのガラス化率と膨張率の関係を示す。膨張率はモルタルバー法は 182 日後、デンマーク法は 91 日後の膨張率の値を用いた。図より、同じ体積置換率であっても、見かけのガラス化率が大きくなると ASR 抑制効果が高くなることが分かる。これは BFS 中の非晶質相の方が骨材中の反応性シリカ鉱物よりも選択的に反応するため、このような傾向が見られたと考えられる。このことから BFS の ASR 抑制効果のためには BFS 中の非晶質相の割合が関与していることが明らかとなった。

また、図-4 にデンマーク法における 91 日後の置換率 50%時の見かけのガラス化率と総細孔容積、塩分浸透深さの関係を示す。なお、見かけのガラス化率 0~25%の時の塩分浸透深さは、モルタル内全体に塩分が浸透していたため、ここでは 20mm とした。図より、見かけのガラス化率の増加とともに総細孔容積と塩分浸透深さは減少する。細孔容積が小さいと、内部からの膨張圧を受けた時、膨張圧を緩和できず大きな膨張量となる。よって ASR を生じた場合にはガラス化率が高いほど膨張量に対して不利となる。しかし、図-3 より見かけのガラス化率の増加とともに ASR 抑制効果は大きくなる。これはガラス化率が高いほど塩分の浸透を抑制し、また、BFS を混和した硬化体がアルカリを吸着し ASR の発生を抑制するためと考えられる。

以上から、見かけのガラス化率の増加とともに膨張率も減少傾向にあるが、見かけのガラス化率が 25%の時は 0%の時よりも膨張率が大きくなったのは、見かけのガラス化率 25%の時は非晶質相の吸着によりアルカリ量は減少したものの、緻密化による膨張圧の緩和効果が減少したためと考えられる。高いガラス化率の場合、緻密化による緩和効果の減少よりも、アルカリ浸透の抑制及びアルカリ吸着効果のほうが顕著に現れ ASR の抑制効果が見られた。このことを見かけのガラス化率 25%の膨張率が最大となった一因と考えられる。実際の BFS のガラス化率は約 95%以上と高く、この高いガラス化率によって ASR を抑制していると考えられる。

4. まとめ

- (1) BFS の ASR 抑制効果は試験環境の違いにより変化する。デンマーク法においてはより多くの BFS 置換率を要する。
- (2) BFS の ASR 抑制効果は BFS 中のガラスの影響が大きい。

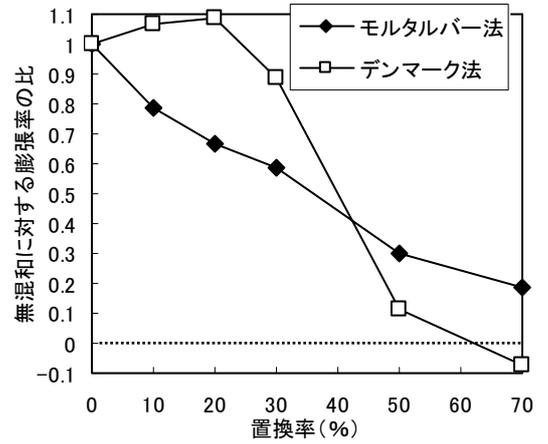


図-2 置換率と膨張比の関係

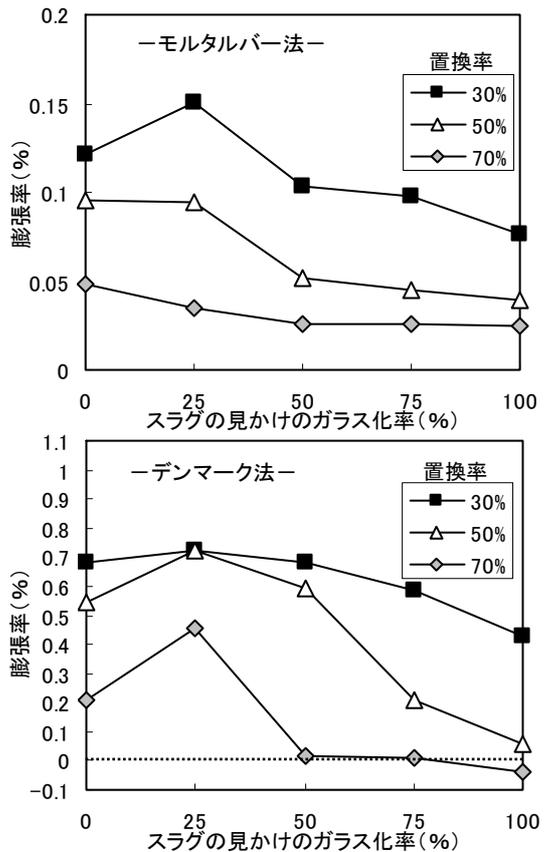


図-3 見かけのガラス化率と膨張率の関係

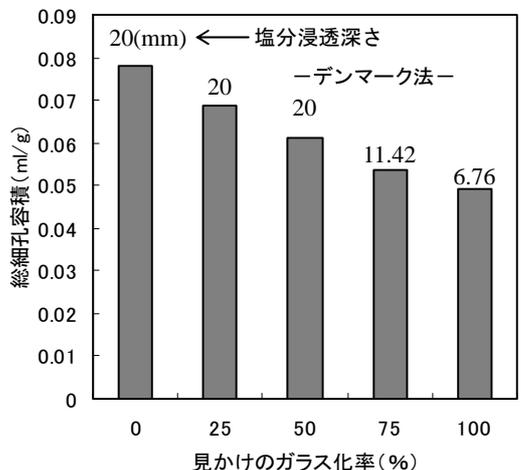


図-4 見かけのガラス化率と細孔量、塩分深さの関係 (置換率 50%)