

高炉スラグコンクリートのアルカリ骨材反応抵抗性に関連した実験的検証

新日鐵高炉セメント(株) 正会員 伊代田 岳史

同 上 大塚 勇介

同 上 正会員 檀 康弘

1. はじめに

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造体の劣化は、阪神大震災以降再注目され、全国どこでも発生しうる劣化現象として、社会的に大きな問題となっている。その対策手法として、抑制効果のある混合セメントの利用も一つとして挙げられている。ここで混合セメントとは、高炉セメント B 種（置換率 40%以上）または C 種ならびにフライアッシュセメント B 種（置換率 15%以上）または C 種とされており、さらに混合材として混和材を利用する際にはその性能を試験により確認するようにと明記されている。このように、高炉スラグ微粉末を用いることはアルカリ骨材反応抑制に効果があることは周知されているが、具体的な定量評価は多くない。そこで、ここでは二種類の促進試験方法による高炉スラグ微粉末の置換率と膨張量の関係、使用する高炉スラグ微粉末のアルカリ量と膨張量の関係さらにスラグ細骨材を用いた膨張量の測定を実施し、高炉スラグがアルカリ骨材反応に与える影響について整理することを目的に実験を実施し、その結果を整理した。

2. 試験概要と方法

高炉スラグに着目したアルカリ骨材反応抵抗性に関連する試験として以下の 3 つの試験を実施した。

(1) 高炉セメント中の高炉スラグ微粉末の置換率と膨張量の関係

【概要】反応性が高い骨材を利用した時の高炉セメント中の高炉スラグ微粉末置換率と膨張量の関係を調査するために、作用機構の異なるデンマーク法と JCI 法による促進試験を実施し膨張量の違いを調査する。

【要因】結合材のスラグ置換率が 40, 50, 60%となるように高炉スラグ微粉末を添加したセメントを試製し、試験に供した。反応性骨材としては、表-1 に示す A, B, C の三種類を用いた。また、あらかじめモルタルバーによる細骨材の反応性を調査した結果を図-1 に示すが、C の反応性のない細骨材以外は反応性が非常に高い骨材であった。

【方法】デンマーク法では、脱型後 7 日間 20℃水中養生を施したコンクリート試験体を 50℃の NaCl 飽和溶液に浸漬し、外部からの塩分が浸透する状態で促進養生を実施した。JCI 法では練り混ぜ時にセメントの全アルカリが 1.2%となるように調整して作成したコンクリートを脱型後 7 日間水中養生し、40℃・RH95%の湿気養生した。

(2) 高炉セメントとして使用する高炉スラグ微粉末のアルカリ量と膨張量の関係

【概要】高炉セメントに使用する高炉スラグ微粉末のアルカリ量が膨張量に与える影響を調査し、高炉スラグ微粉末内のアルカリ量について考慮する必要があるかどうかを検証する。

【要因】普通セメント($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=0.56\%$)に産地の異なる a, b 二種類の高炉スラグ微粉末を 50%置換して試製高炉セメント B 種を作成した。入手できた数種類の高炉スラグ微粉末のうち R_2O の値により二種類のスラグを選定した。使用したスラグの R_2O は a:0.388%, b:0.503%であった。

【方法】JIS のモルタルバー法に準拠して前述した B の細骨材を用いてモルタルを作成した。ただし、アルカリ添加については添加アルカリ量を同一としたもの①（スラグ a：全アルカリ 1.14%）、②（スラグ b：1.2%）と全アルカリが 1.2%となるように添加したもの③（スラグ a：1.2%）の三種類とした。

表-1 骨材の組み合わせと有害性

	粗骨材		細骨材
A	北海道産	有	北海道産
B	常願寺川産	有	常願寺川産
C	九州産	有	海砂

(有害性については化学法で確認)

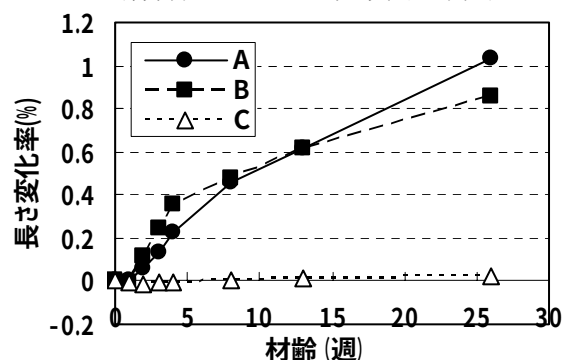


図-1 モルタルバー法による長さ変化試験

(3) 使用する細骨材に高炉スラグ細骨材を添加した場合の膨張量

【概要】高炉スラグ細骨材は化学法を実施すると無害でないとの判定をえるため、無害の骨材に高炉スラグ細骨材を添加して膨張量を調査する。

【要因】無害と判定された前述 C の細骨材に高炉スラグ細骨材を 0, 10, 15, 30, 50%置換した骨材を作成した。

【方法】JIS に準拠したモルタルバー法を実施して骨材配合の違いによる膨張量を調査した。

3. 試験結果と考察

3.1 スラグ置換率と膨張量の調査結果

図-2 ならびに図-3 はそれぞれデンマーク法ならびに JCI 法により実施したコンクリートの膨張量の経時変化を示したものである。これより、デンマーク法では普通セメントを利用したコンクリート[B-0(N)]で膨張を示したが、スラグ置換率を変化させたどの高炉セメントでも膨張が抑制されていることがわかる。また、JCI 法でも高炉スラグ微粉末を利用した場合の抑制効果が認められているが、置換率の差は認められなかった。促進試験方法の作用機構として、塩分が後から浸透するデンマーク法では、塩分遮蔽性が高いとされている高炉コンクリートには塩化物イオンが浸透しにくく、本質的に促進養生されているとはいいがたい。しかし、JCI 法においても膨張を抑制できることから今回の骨材であれば、混合比 40%以上であれば十分に膨張抑制できるといえる。

3.2 高炉スラグ微粉末のアルカリ量と膨張量の調査結果

図-4 にアルカリ量の異なるスラグと添加アルカリ量を調整したモルタルバーの結果を示す。また比較用に図-1 に示した普通セメントの結果(N)を併記した。添加アルカリ量を同一とした[①, ②]ではスラグに含有するアルカリ量の影響はほとんどないといえる。一方、全アルカリ量を同一とした場合[②, ③, N]では添加量が多くなることで膨張量は増加するものの、N の膨張に比べて著しく抑制している。従ってこのようなアルカリ量を調整するような試験では、高炉スラグのアルカリ量を考慮しない方が材料評価としてはよいと考えられる。今回はスラグのアルカリ量は約 0.4 と 0.5 程度の違いであったが、最近の国内スラグの実績もこの範囲程度であることから、スラグ中のアルカリ量を考慮しなくても良いと考えられる。

3.3 使用細骨材に高炉スラグ細骨材を用いた膨張量調査結果

図-5 に細骨材中の高炉スラグ細骨材率が異なるモルタルバーの結果を示すが、すべてのケースにおいて無害とされる骨材[0%]と同程度の膨張量であり、高炉スラグ細骨材が反応性を持つとはいえないと考えられる。

4. まとめ

高炉スラグを用いたアルカリ骨材反応への対策について実験的検討を実施した結果について報告した。

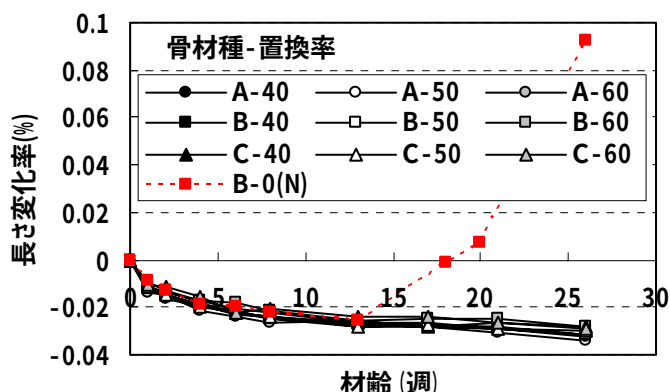


図-2 デンマーク法による長さ変化試験結果

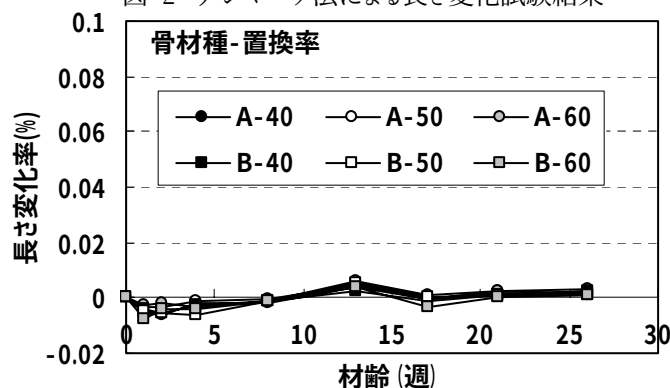


図-3 JCI法による長さ変化試験結果

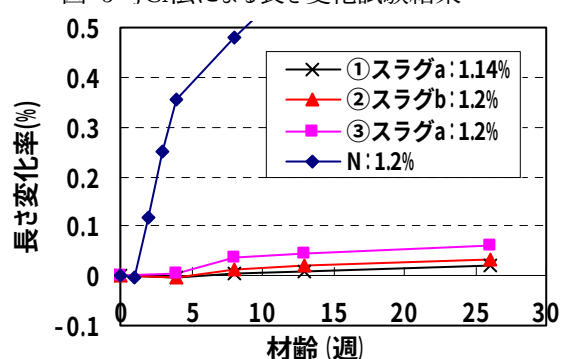


図-4 産地の異なるスラグの長さ変化試験

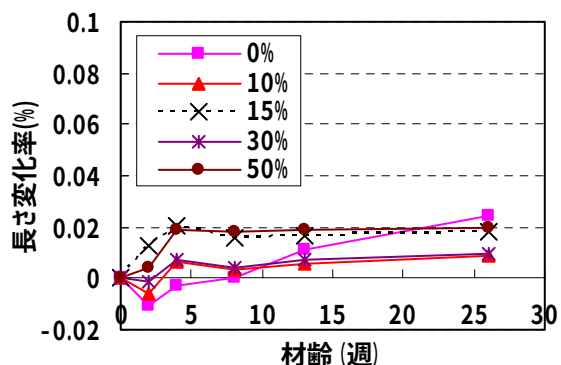


図-5 スラグ細骨材を置換した長さ変化試験