

高炉スラグ微粉末やフライアッシュを高含有させたコンクリートの中性化に関する一実験

大林組技術研究所 正会員 ○近松 竜一

大林組技術研究所 正会員 阿部 諭史

大林組技術研究所 小林 利充

大林組技術研究所 溝渕 麻子

1. まえがき

高炉スラグ微粉末やフライアッシュは、産業副産物の有効利用の観点から、高炉セメントB種に代表されるように混合セメントとして古くから用いられている。

これらの材料をコンクリートに混和した場合、一般にはコンシステンシーの改善、長期強度の増進、水和熱の低減、アルカリ骨材反応の抑制や塩化物イオンの浸透低減などの効果がある。これらの効果をより有効に発揮させるために、コンクリートを製造する際にセメントや骨材の一部と置換する混和材として使用する事例も増えている。

一方、近年においては、環境負荷を低減するための取り組みが積極的に行われている。なかでも、省エネルギーと温室効果ガスの削減に向けて低炭素型のコンクリートに関する研究が多数報告されている<sup>1)</sup>。今後は、コンクリートの要求性能として、強度や耐久性など構造材料として必要な機能だけでなく、環境負荷の低減に関してもさらに配慮が求められるものと思われる。

CO<sub>2</sub>排出量が少ない環境配慮型のコンクリートを指向した場合、ポルトランドセメントよりCO<sub>2</sub>排出量が少ない混和材を高置換して結合材とすることが想定される。

既往の文献によれば、混和材の置換率は概ね70%以下の範囲を対象とした研究事例が多い。さらに置換率を高めた事例として橋りょうマスコンクリート用の低発熱型混合セメントの事例<sup>2)</sup>があるが、その他のデータは少ない<sup>3)</sup>。

一般に、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和した場合、同一の水結合材比では混和しない場合に比べて中性化の進行が速いといわれている。環境配慮型のコンクリートの耐久性を評価するためには、混和材を高置換した場合のデータを収集し、中性化による鋼材腐食を適切に照査する必要がある。そこで、本報では、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和材として高置換させた各種コンクリートを対象として、促進中性化試験を実施した。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm<sup>3</sup>、ブレン値 3160cm<sup>2</sup>/g)、混和材は高炉スラグ微粉末(密度 2.89g/cm<sup>3</sup>、ブレン値 4360cm<sup>2</sup>/g、SO<sub>3</sub>量 2.3%)、フライアッシュⅡ種(密度 2.17g/cm<sup>3</sup>、ブレン値 4180cm<sup>2</sup>/g、)を用いた。細骨材は陸砂(密度 2.62g/cm<sup>3</sup>、粗粒率 2.81)、粗骨材は碎石 2005(密度 2.65g/cm<sup>3</sup>、粗粒率 6.64)、AE 減水剤(高機能型)または高性能 AE 減水剤を使用した。

試験コンクリートの概要を表-1に示す。高炉スラグ微粉末の置換率は50%、75%および85%とし、75%と85%の場合はフライアッシュを内割で10%、20%置換した場合も試験した。水結合材比は60%～30%の範囲とした。目標スランプはAE 減水剤を用いた配合は12cm、高性能 AE 減水剤を用いた場合、水結合材比40%以上では21cm、30%台はスランプフロー50～60cmに設定した。

促進中性化試験はJIS A 1153に準じて実施した。供試体は材齢28日まで20℃水中養生し、室内で乾燥後、材齢56日より20℃60%RH、CO<sub>2</sub>濃度5%で試験を開始した。

3. 実験結果および考察

結合材水比と圧縮強度(材齢28日)の関係を図-1に示す。混和材を75%以上置換した場合も両者の相関はほぼ直線関係で近似できる。ただし、高置換した場合ほど、同一結合材水比での圧縮強度は小さく、結合材水比の増

表-1 試験コンクリートの配合の概要

| 結合材種類(B)    |         |    |    | WR配合*1     |                           | SP配合*2     |                           |
|-------------|---------|----|----|------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| 記号          | 混合割合(%) |    |    | W/B<br>(%) | W<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/B<br>(%) | W<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|             | C       | BS | FA |            |                           |            |                           |
| C100        | 100     | 0  | 0  | 60, 50, 45 | 162                       | 44, 37, 30 | 160                       |
| C50BS50     | 50      | 50 | 0  | 60, 50, 45 | 160                       | 44, 37, 30 | 152                       |
| C25BS75     |         | 75 | 0  |            | 160                       |            | 149                       |
| C25BS65FA10 | 25      | 65 | 10 | 50, 45, 40 | 155                       | 44, 37, 30 | 144                       |
| C25BS55FA20 |         | 55 | 20 |            | 150                       |            | 137                       |
| C15BS85     |         | 85 | 0  |            | 159                       |            | 147                       |
| C15BS75FA10 | 15      | 75 | 10 | 50, 45, 40 | 155                       | 44, 37, 30 | 144                       |
| C15BS65FA20 |         | 65 | 20 |            | 150                       |            | 137                       |

\*1 AE減水剤を用いた配合、\*2高性能AE減水剤を用いた配合

キーワード 中性化, 促進試験, 混和材, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組技術研究所 Tel 0424-95-1012

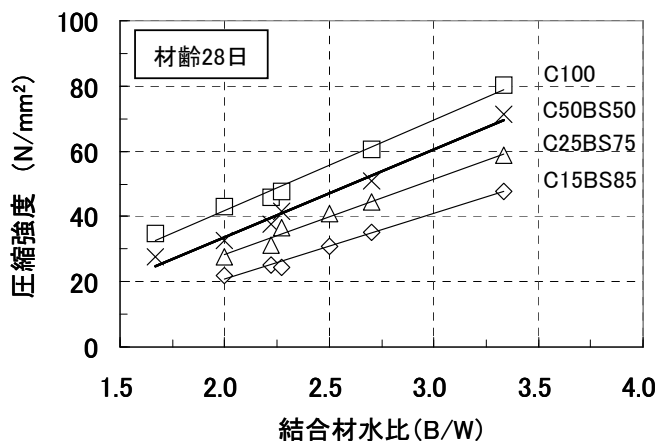


図-1 結合材水比と圧縮強度

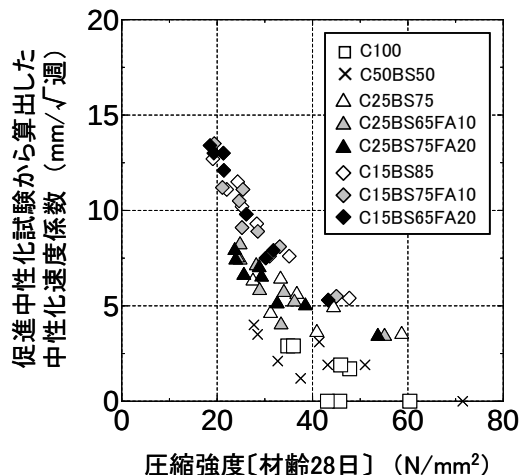
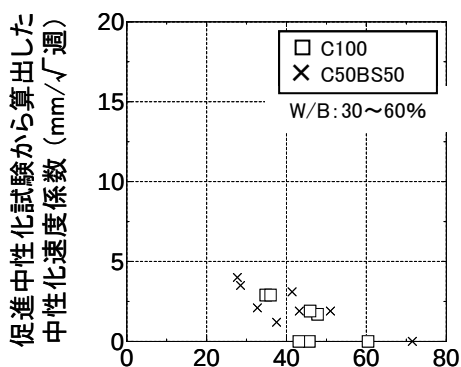
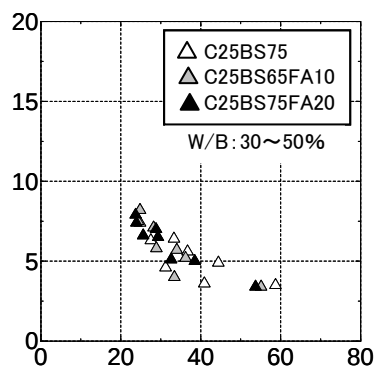


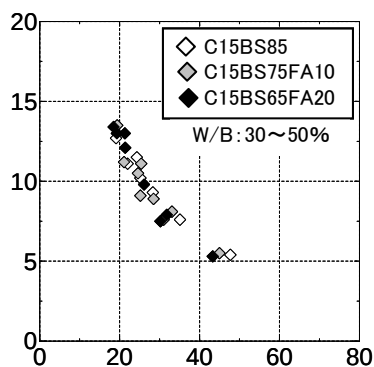
図-2 促進中性化試験結果（全データ）



圧縮強度〔材齢28日〕(N/mm²)



圧縮強度〔材齢28日〕(N/mm²)



圧縮強度〔材齢28日〕(N/mm²)

図-3 促進中性化試験結果（混和材置換率別）

分に対する圧縮強度の増大割合も小さくなる傾向にある。材齢 28 日で同一の強度水準とするには、結合材水比を小さく設定する必要があるといえる。

促進中性化試験をもとに算出した中性化速度係数を圧縮強度の関係で整理し、図-2 に示す。また、この結果を混和材の置換率別に整理し、それぞれ図-3 に示す。

一般的に水中養生終了時の圧縮強度が大きい場合ほど中性化速度係数が小さくなっている。混和材を高置換した場合、水結合材比を低減し緻密な硬化体を形成することで、一般のコンクリートと同様に中性化の進行速度を低減できると考えられる。ただし、混和材の置換率が大きい場合、この圧縮強度の増大に伴う中性化速度係数の低下割合は小さくなる傾向が認められる。

なお、参考までに本促進試験による中性化速度係数が 8 (mm/√週) 以下の場合、CO<sub>2</sub> 濃度が 1/2 乗に比例し、ばらつきを考慮した安全係数を 1.15 と仮定すると、100 年後の中性化深さは、通常的环境下において、かぶりを 70mm (施工誤差 10%, 中性化残り 10mm) とした場合の鋼材腐食発生限界深さ以下になると試算される。

#### 4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 混和材を高置換した場合の中性化速度係数は、従来と同様に圧縮強度との相関が高い。
- (2) 混和材を高置換した場合、強度の増大に対する中性化速度係数の低減割合が小さくなる。

#### 【謝辞】

実験にご協力いただきました宇部興産(株)および日本シーカ(株)の皆様は紙面を借りて感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 松家武樹ほか；フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートの諸特性，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.32, No.1, pp.185-190, 2010
- 2) 金沢克義ほか；大型橋りょうマスコンクリートに適した超低発熱型セメント，コンクリート工学 Vol.29, No.4, pp.27-36, 1991.4
- 3) 中本純次ほか；高性能 A E 減水剤を用いた高炉スラグ高含有コンクリートの中性化および発熱特性，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.18, No.1, pp.307-312, 1996