

高炉スラグ微粉末高置換セメントの炭酸化進行メカニズムの検討

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○三坂 岳広
 元芝浦工業大学大学院 学生会員 伊藤 孝文
 芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 背景および目的

近年、二酸化炭素排出量削減の方法としてセメントに置換することで普通ポルトランドセメント(OPC)使用量を減らすことのできる混和材が注目されており、特に混和材を高置換したコンクリートの研究開発が続けられている。この混和材料の中でも高炉スラグ微粉末(BFS)は置換率を大きく設定することが可能であり、置換による二酸化炭素排出量削減効果が大きい。高炉セメントを用いて製造されたコンクリートは、長期強度の増進、化学抵抗性が大きい、水密性が優れるなどの利点を持つ。しかし、JIS 規格の促進中性化試験に準じて試験を行った場合、中性化速度が大きいという問題もある。一方で松田ら¹⁾は、実構造物の調査結果より、高炉セメントと普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートで中性化深さが同程度と報告している。

BFS で置換したセメントを用いた場合、促進中性化試験が実環境の促進になっていない可能性がある。また、フェノールフタレイン 1%溶液での呈色反応域が BFS で置換したセメントと OPC を使用したコンクリートで同様の炭酸化程度を示すのかも不明である。

本研究では BFS で高置換したセメントを用いたモルタルに対し、促進中性化試験で炭酸化させた内部の水和生成物や pH の変化を深さ毎に分析する。これにより BFS を高置換したコンクリートの促進中性化による炭酸化の過程を把握する。

2. 実験の概要

2.1 配合および供試体の概略

表-1 にモルタルの配合条件を示す。すべての配合の W/B を 50% で一定とし、1 : 3 モルタルとした。供試体の寸法は 40×40×160mm のモルタルバーとした。打設した供試体は材齢 1 日で脱型し、材齢 7 日まで恒温(20±1℃)で封かん養生を行った。表-2 に試験項目と概略を示す。化学分析として示差熱分析を行った。

表-1 モルタルの配合条件

	W/B(%)	S/C	OPC(%)	BFS(%)
N100	50	3	100%	-
B50			50	50
B65			35	65
B85			15	85

表-2 試験項目と概略

	目的	方法
圧縮強度試験	各モルタルの圧縮強度を測定	セメントの物理試験方法(JIS R 5201)に準拠
促進中性化試験	モルタルの中性化を促進	温度: 20±1℃, 湿度: 60±5%, CO ₂ 濃度: 5%
中性化深さ試験	中性化深さの測定	フェノールフタレイン 1%溶液を噴霧
示差熱分析	Ca(OH) ₂ と CaCO ₃ の生成量の確認	DTA 曲線の変曲点から質量変化量を算出
pH 測定	表面からの距離毎の pH を把握	pH の測定方法(JIS Z 8802)に準拠

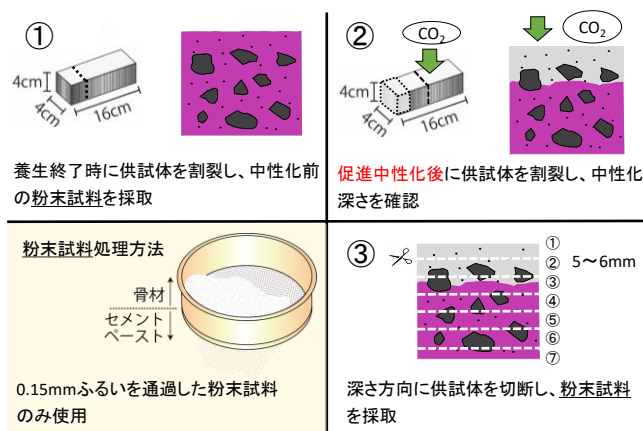


図-1 粉末試料作製方法

2.2 試験項目および試験方法

表-2 に試験項目と概略を示す。また、粉末試料作製方法を図-1 に示す。供試体側面の 1 面のみを解放したモルタルバーを用いて促進中性化試験を行った。供試体を促進中性化試験前と促進材齢 7 日で割裂し、割裂した供試体を厚さ 5~6mm で切断し、表面からの深さの異なる試験片を採取した。試験片は、メノウ乳鉢で微粉碎し 0.15mm ふるいを用いて骨材を分離し、通過した粉末試料を示差熱分析と pH の測定に用いた。

キーワード ひび割れ, 乾燥収縮, 養生, 高炉スラグ微粉末, 水和水度

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 TEL:03-5859-8356 Email:na16503@shibaura-it.ac.jp

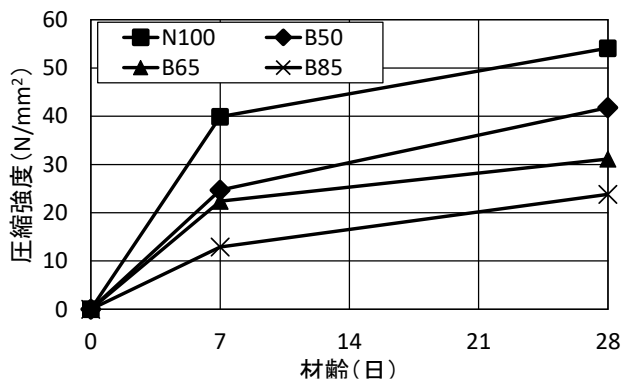


図-2 圧縮強度試験結果

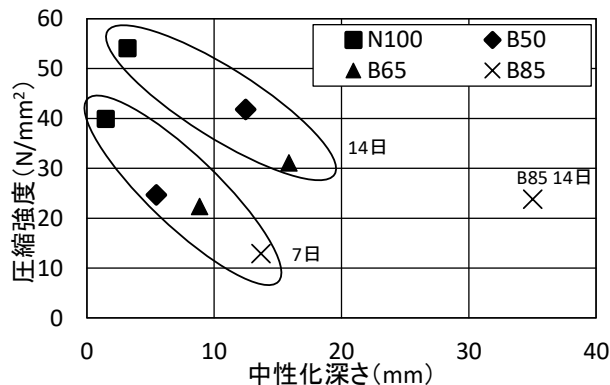


図-3 圧縮強度と中性化深さの関係

3. 実験結果

図-2 に各モルタルの圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は、BFS の置換率が大きくなるほど強度が小さい。図-3 に圧縮強度と中性化深さの関係を示す。中性化深さは強度の小さい (BFS の置換率が大きい) ものほど中性化深さが大きくなった。特に B85 の促進材齢 14 日は、圧縮強度に対して中性化深さが大きくなっており、その他のモルタルと異なる傾向を示した。

図-4 に pH の分布を示す。また、図中に中性化深さを示す。モルタル内部の pH は BFS の置換率が大きいほど小さい傾向が得られた。表層は BFS の置換率が大きいほど pH が小さくなっており、内部まで pH が低下している。図-5 に炭酸カルシウム(CaCO_3)の分布を示す。各モルタルの表層の CaCO_3 量は炭酸化により多くなっており、BFS 置換率の大きいもののほど内部まで CaCO_3 量が多い領域が広がっている。また、B85 は、中性化深さより深い範囲まで CaCO_3 が生成している。図-6 に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の分布を示す。各モルタルの表層の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は炭酸化により減少しており、中性化深さより内部まで $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が減少している。供試体内部の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は BFS 置換率が大きくなるほど少なく、B85 は全体的に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が少ない。

結果から、B85 は炭酸化により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が CaCO_3 に変化したのではなく、C-S-H が炭酸化によって CaCO_3 に変化したと考えられる。また、B85 は中性化深さより深い範囲まで炭酸化した。

4. まとめ

BFS 置換率が 85% と大きいモルタルでは、中性化速度が極端に大きく、炭酸化した範囲も中性化深さよりさらに深くなった。BFS で置換したセメントを用いたモルタルの炭酸化部は、 CaCO_3 の生成量が多い。特に BFS の置換率が大きいモルタルの炭酸化は、主に C-S-H

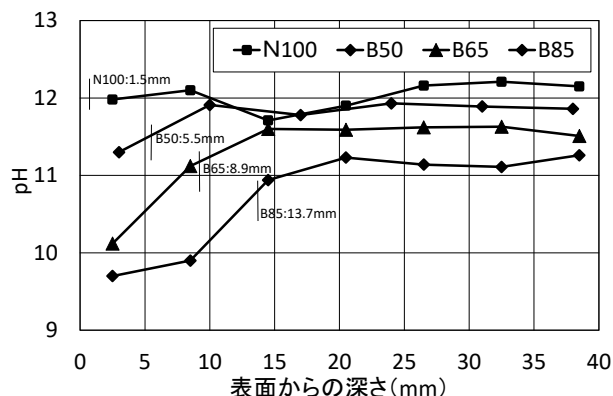
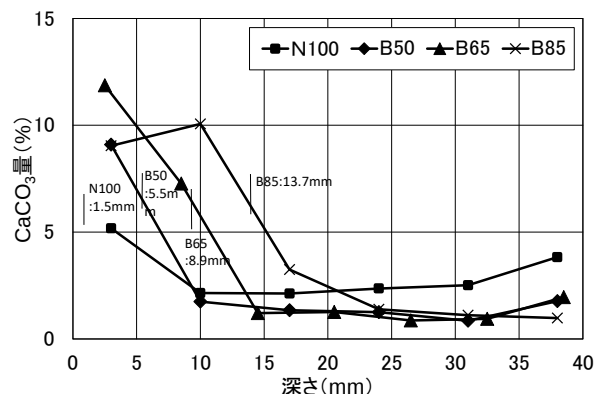
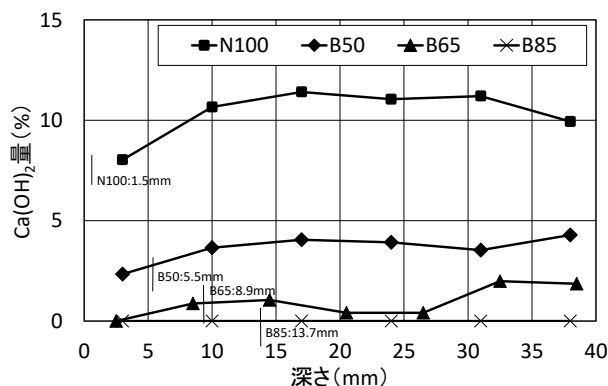


図-4 pH の分布 (促進材齢 7 日)

図-5 CaCO_3 量の分布 (促進材齢 7 日)図-6 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の分布 (促進材齢 7 日)

が炭酸化することにより pH が低下すると考えられる。

参考文献

- 1) 松田ら：実構造物調査に基づく炭酸化に与えるセメントおよび水分の影響，コンクリート論文集，Vol.32，No.1，pp629-634，2010