

高炉スラグ微粉末による水和生成物量の違いが炭酸加速度に与える影響

芝浦工業大学 大学院 理工学研究科 建設工学専攻
 芝浦工業大学 工学部 土木工学科
 芝浦工業大学 大学院 理工学研究科 建設工学専攻
 芝浦工業大学 工学部 土木工学科

○荒木萌
 落合ひな
 中村絢也
 伊代田岳史

1. はじめに

近年、各業界において環境負荷低減のため様々な取り組みが行われている。建設業界では、混和材を使用する取り組みが進められている。セメントの中間製品であるクリンカーを製造する過程で、石灰石を焼成することで二酸化炭素（以下、 CO_2 ）が発生する。普通ポルトランドセメント（以下、OPC）に混和材を置換することでクリンカーの構成比を大幅に引き下げられるため、 CO_2 排出量を削減できるメリットがある。しかしながら、混和材を使用するデメリットとして、初期強度や中性化抵抗性が低下することが挙げられる。本研究では、混和材を使用した際の中性化抵抗性に着目した。一般的に、コンクリートの中性化とは、コンクリート中の水和物である水酸化カルシウム（以下、CH）とケイ酸カルシウム水和物（以下、C-S-H）が炭酸化することであり、水和物量に大きく依存すると考えた。既往の研究¹⁾より、高炉スラグ微粉末（以下、BFS）の高置換（70%付近）において中性化速度が大きくなり、また中性化速度係数と水和物であるCH、C-S-HのCaO量に相関関係があると報告されている。そこで本研究では、セメントの水和生成物量の違いが炭酸化速度に与える影響を検討するため、空隙構造と炭酸化する水和物中のCaO量に着目し研究を行った。

2. 試験概要

2. 1 使用材料および試験体諸元

本研究では、BFSを用いた水和生成物量を変化させた硬化体の炭酸化進行速度への影響を検討した。そこで、表1に示すように、水結合材比（以下、W/B）を40、50、70%とし、それぞれにおいて養生条件とBFS置換率を0、50、70、90%とした試料を作製した。養生条件は、W/B 50%のBFSに関しては7、28日間の水中養生を行った。それ以外に関しては0、7、28日間の封緘養生を行った。W/Bと養生条件を変えることで空隙構造を変化させ、セメント種類を変えることでセメント硬化体中に生成される水和物を変化させ、中性化速度への影響と水和物の関係を探った。供試体寸法は40×40×160mmとし、BFSを90%置換したものに関しては中性化速度が大きいことから80×40×160mmとし、セメントと砂の質量比を1:3としたモルタル供試体を作

表1 試験体概要

凡例	W/B	置換率	養生
40-B50-S	40	50	封緘
40-B70-S		70	
40-B90-S		90	
50-B50-S	50	50	水中
50-B50-W		50	
50-B70-S		70	
50-B90-S	70	90	封緘
70-B50-S		50	
70-B70-S		70	
70-B90-S		90	

製した。

また、水和物中のCaO量を調べるため水和物の解析を行った。モルタル試料と同配合のセメントペーストを作製し、各養生を施した後、粉碎し、アセトンを用いた真空飽和処理により水和停止を行い、40℃の炉で乾燥処理を行うことで水和物分析の前処理とした。

2. 2 実施試験

(1) 中性化試験

養生終了後、供試体にアルミテープで側面の2面を除き封緘した。その後、実環境と促進中性化試験装置（温度20℃、湿度60%、 CO_2 濃度5%）に静置した。材齢ごとに割裂し、JIS規格に準拠しフェノールフタレイン溶液を噴霧した。赤紫色に呈色した部分までの長さを各側面で4点とり、計8点計測し、その平均値を中性化深さとした。

(2) 反応率計測

炭酸化されるCH、C-S-H量を算出することを目的とし、硬化体中の水和生成物量(CH、C-S-H)を求めるために、OPCとスラグの反応率を測定することでCaO量を算出した。OPCの反応率は、示差熱・熱重量同時測定装置(TG-DTA)を用いて強熱減量を計測して算出した。CH

の熱分解による脱水量から CH 量を求め、材齢 28 日における CH 量が最大と仮定して、OPC の水和度を 100 とし、各材齢の CH 生成量から反応率を算出し、その反応率を用いて C_3S から生成する C-S-H 量を逆解析により算出した。

一方、BFS の反応率測定には、サリチル酸・アセトン・メタノール溶液による選択溶解法を用いた。算出した BFS の反応率から消費した CaO 量を算出し、C-S-H 量と仮定した。なお、BFS の反応率を算出する際には、強熱減量法の値を使用している。

3. 実験結果及び考察

3. 1 中性化深さ

図2に実・促進環境における養生をしていない BFS 置換率と中性化速度係数の関係を示す。この結果より、BFS が高置換なほど中性化しやすく、W/B が高くなるにつれ中性化しやすい傾向が得られた。さらに、置換率 70% を越えると、急激に中性化速度係数が大きくなることがわかる。

3. 2 BFS 置換率と CaO 量の関係

図2に BFS 置換率を 50% のときの W/B と CaO 量の関係を示す。養生する日数が多くなるほど、 CaO 量が増加することがわかる。

3. 3 中性化速度係数と CaO 量の関係

図1および図2の結果をもとに、図3に算出した水和物中の CaO 量と促進環境中性化速度係数の関係を、異なる W/B ごとに示した。また、既往の研究¹⁾で測定した、W/B50%における養生条件 0、7、28 日の結果も同様に掲載した。W/B40%、70%それぞれにおいて相関関係が得られた。また、W/B50%の傾きに対して、W/B40%、70%の傾きはほぼ平行に位置した。W/B の相違で平行に位置した結果より、中性化速度は硬化体の内部構造に影響を受けていると考えられ、硬化体内部が緻密化することで中性化速度が小さくなったと考えられる。また、BFS を 90%置換したものに関して、中性化速度係数が急激に大きくなるのは、 CaO 量が大幅に少ないことが影響していると考えられる。このことから、 CaO 量の違いが中性化速度に影響を与えていると考えられる。

4. まとめ

- (1) 水和物中の CaO 量と中性化速度係数の関係から、 CaO 量が少ないほど中性化速度係数は大きくなった。 CaO 量は水和度に依存することから、使用する材料に加え、養生条件に大きく依存するといえる。
- (2) W/B を変動させることによりセメント硬化体の CaO 量が同程度であっても中性化速度係数は異なった。このことは、W/B による空隙構造が変化す

ることを意味していると考えられる。

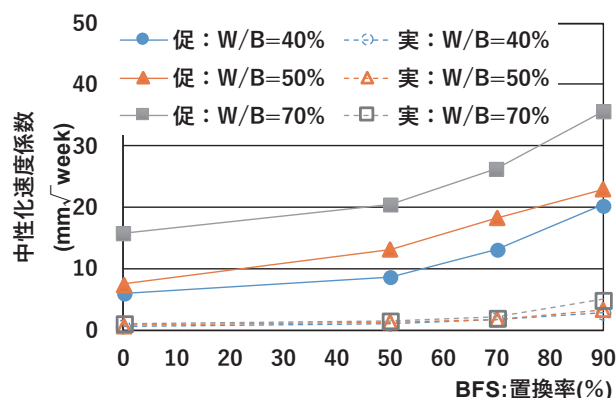


図1 中性化速度係数

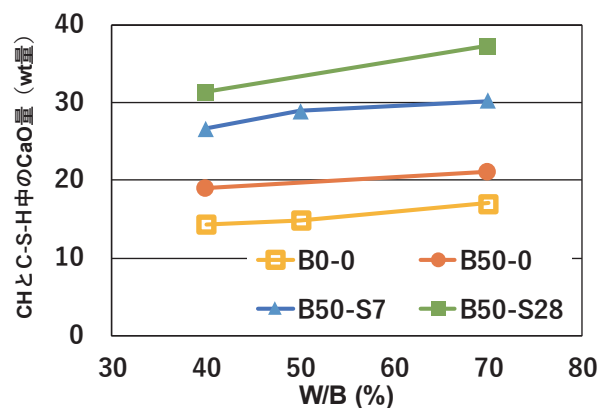


図2 W/B と CaO 量の関係

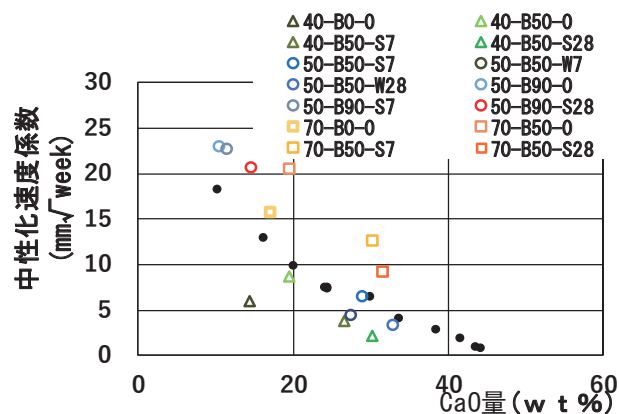


図3 中性化速度係数と CaO 量の関係

謝辞：本研究の一部は、鐵鋼スラグ協会および日本スラグセメントコンクリート研究会の助成を受けた。

【参考文献】

- 1) 中村絢也、伊代田岳史、後藤誠史：高炉セメント硬化体の実と促進環境における炭酸化メカニズムに関する考察、コンクリート工学年次論文集 Vol.140、No. 1、PP585-590