

高炉セメント硬化体の水和生成物量と空隙構造の違いが 中性化速度に与える影響

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

○深澤英将
野中拓海
中村絢也
伊代田岳史

1. はじめに

近年、建設業界では環境負荷低減を目的として混和材を使用する取り組みが進められている。中でも鉄鋼を生産する過程で排出された副産物である水砕スラグを粉砕して得られる高炉スラグ微粉末(以下、GGBFS)は、セメントの代替として用いることができるため、エネルギーの省力化や天然資源の保護を推進するなど環境負荷低減の面から注目されており、コンクリート構造物への積極的な利用がなされている。しかしながら、この GGBFS を使用する場合、初期強度や中性化抵抗性の低下が懸念される。本研究では、GGBFS を使用した際の中性化抵抗性について着目した。一般的にコンクリートの中性化とは、セメントからの水和生成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)が二酸化炭素と反応して、炭酸カルシウムを生成し、コンクリート内のアルカリ性雰囲気失われていく現象である。このことから、中性化の進行は水和物量に大きく影響されるのではないかと考えた。既往の研究^{1,2)}より中性化速度係数と水和生成物中の CaO 量には相関関係があると報告されている。本研究ではセメントの水和生成物に含まれる CaO 量の違いやセメント硬化体の空隙構造の違いが、中性化速度に与える影響を把握するため、水和物中の CaO 量とセメント硬化体の空隙構造に着目して研究を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料及び供試体概要

本研究では、水和物量と硬化体内の空隙構造を変化させてセメント硬化体の中性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 30、50、70%とし、GGBFS を 0 (OPC)、20、50、70% 置換して試料を作製した。また、封緘養生を 1、7、28 日間施した。W/B を変えることで空隙構造を変化させ、GGBFS の置換率と養生日数を変えることで、セメント硬化体中に生成される CaO 量を変化させた。供試体寸法は 40×40×160mm とし、セメントと細骨材の質量比を 1:3 としたモルタル供試体を作製した。

また、水和物中の CaO 量を算出するため水和物の解析

表 1 試料概要

凡例	W/B (%)	置換率 (%)	養生期間 (日)
OPC	30	0	0
GGBFS20		20	
GGBFS50	50	50	7
GGBFS70	70	70	
			28

を行った。モルタル供試体と同配合のセメントペーストを作製し、養生を施した後、試料を粉砕しアセトンを用いた真空飽和処理によって水和を停止し、微粉砕することで反応度測定の前処理とした。

2.2 実施試験

(1) 促進中性化試験

養生終了後、打設面に対して、側面の 2 面を除きアルミテープで封緘した。その後、促進中性化試験装置(温度 20°C、湿度 60%、CO₂濃度 5%)に静置した。材齢ごとに割裂し、JIS 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面の 4 点、計 8 点計測を行い、その平均値を中性化深さ X とした。また中性化の進行は、 \sqrt{t} 則に従うものとして $X=A\sqrt{t}$ を用いて中性化速度係数 A を算出した。

(2) 反応率測定

中性化する硬化体中の水和生成物量(CH、C-S-H)を求めることを目的として、OPC と GGBFS の反応率を測定して CaO 量を算出した。OPC の反応率は、熱重量同時測定装置(TG-DTA)を用いて試料を強熱して質量減少量から算出した。W/B の違いによるセメント量の違いを考慮するため、各材齢の 20~1000°Cにおける質量減少率から、セメントが完全水和状態に近いと考えられる W/B70%の材齢 28 日における算出値を最大値と仮定して、反応率を算出した。

一方、GGBFS の反応率測定は、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。

(3) 透気試験

セメント硬化体の空隙の連続性が中性化速度に与える

影響を確かめるために透気試験を実施した。供試体はφ40×5mmのセメントペーストで実施した。

3. 試験結果及び考察

3.1 水結合材比と中性化速度の関係

図1にW/B30、50、70%での中性化速度係数とCaO量の関係を示す。なお凡例としてGGBFS50_30(配合、置換率、水結合材比)と示す。W/B50%では、GGBFSの置換率が低くなるにつれて、水和物中のCaO量が多くなり、中性化速度係数が改善されていることがわかる。

W/B30%の場合、CaO量に関わらず中性化速度係数が小さい結果となった。GGBFSの置換率でみても70%置換した場合のみ若干大きな値となったが、それ以外の置換率では概ね同じ値となった。これは、低水結合材比であるため、セメント硬化体中の空隙構造が複雑になり、炭酸ガスがセメント硬化体中に浸透しにくくなったからなのではないかと考える。

一方、W/B70%においてCaO量と中性化速度係数は相関が得られた。しかしながら、OPC、GGBFS置換率20%の場合、CaO量が異なるにもかかわらず、中性化速度係数は同程度の値に収束をした。このことから水結合材比を大きくした場合、セメント硬化体中の空隙構造は疎なものとなり、炭酸ガスが侵入しやすくなるため、CaO量が多い場合でも、中性化速度係数の改善には下限値が存在するのではないかと考えられる。

3.2 空隙と中性化速度係数の関係

図2に透気係数と中性化速度係数の関係を示す。結果から、透気係数と中性化速度係数には相関関係があることがわかる。GGBFSの置換率が50、70%では、この傾向が顕著である。また、高水結合材比であるほど、透気係数は大きくなり、中性化速度係数も大きくなっている。一方、低水結合材比の場合、GGBFSの置換率によらず透気係数は小さくなり、中性化速度係数も小さくなった。加えて、OPCとGGBFSを20%置換した場合、中性化速度係数が同程度の小さな値に収束をしていくことがわかる。

硬化体内の空隙は炭酸ガスの通る経路となるため、透気性が高いと硬化体内に炭酸ガスが侵入しやすい。そのため、中性化の進行を抑えられると考えられるCaO量が多いとされるGGBFSの置換率が低い場合でも、中性化速度係数は改善されず、ある値に収束をしているのではないかと考える。

4. まとめ

以下に本研究で得られた知見を示す。

(1) 高水結合材比ではCaO量と中性化速度係数の相関を得ることができた。一方、低水結合材比ではCaO量に関わらず、中性化速度係数が小さい結果となった。

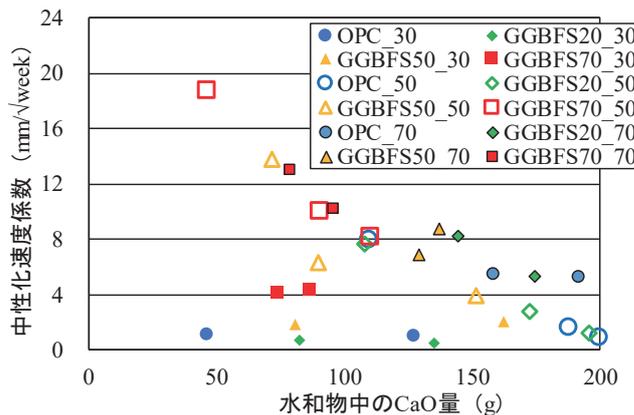


図1 中性化速度係数とCaO量の関係

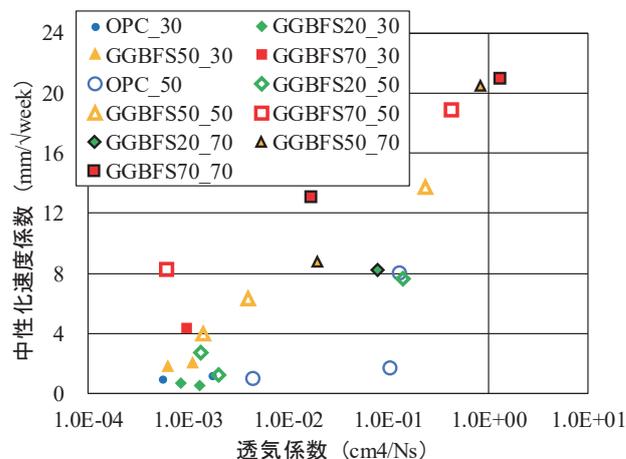


図2 中性化速度係数と透気係数の関係

中性化速度係数はセメント硬化体中のCaO量で整理することが可能であるが、水結合材比によってその傾向は異なる。

- (2) 透気係数が大きいほど中性化速度係数は大きく、CaO量が少ないほど中性化はしやすい傾向にある。
- (3) 中性化の進行しやすさはセメント硬化体中の空隙構造とも密接な関係があることが示唆された。今後、CaO量と空隙構造の複雑さが中性化速度に与える影響を検討していきたい。

謝辞：本研究の一部は、日本スラグセメントコンクリート研究会の助成を受けました。感謝いたします。

【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. 40, No. 1, PP585-590
- 2) 荒木萌, 落合ひな, 中村絢也, 伊代田岳史:高炉スラグ微粉末による水和生成物量の違いが炭酸化速度に与える影響, 第73回セメント技術大会