

AH15021 落合 ひな
指導教員 伊代田 岳史

1. はじめに

セメントの中間製品であるクリンカを製造する過程で、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。そこで、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。その一方で、混和材を置換することで、初期強度や中性化抵抗性が低下するデメリットがある。本研究では、混和材置換のデメリットである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。既往の研究より¹⁾、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. 実験概要

2. 1 使用材料及び供試体諸元

本研究では、混和材(BFS, FA)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、水結合材比（以下、W/B）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%及びFAを30%置換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

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处理により水和停止を行い、40°C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。

今回は、BFSに注目しBFSのみの結果を示す。

2. 2 試験内容

(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°C、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面の上下4点、計8点計測し、その平均値を中性化深さとした。

(2) 反応率の測定

炭酸化の対象成分をCH、C-S-H中のCaOと考え、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量を求めた。

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、強熱減量法の値を使用した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 実環境と促進環境の中性化試験

図-1に実・促進環境の封緘養生なしにおけるBFS

置換率と中性化速度係数のW/Bによる違いを示す。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を示した。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った。これは、水中養生をした場合も同様であった。

3. 2 中性化速度係数と水和物中のCaO量の関係

表-2に水和物の解析により算出したCHとC-S-H中のCaO量を示す。同一置換率においてW/Bが大きくなるほど、CaO量も大きな値となった。

図-2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。既往の研究¹⁾である、W/B50%における養生条件0, 7, 28日の結果を塗り潰しありの点でプロットしている。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。また、B90では、CaO量が極端に少なく、他の置換率における中性化メカニズムとは異なると考えられる。

(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。

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

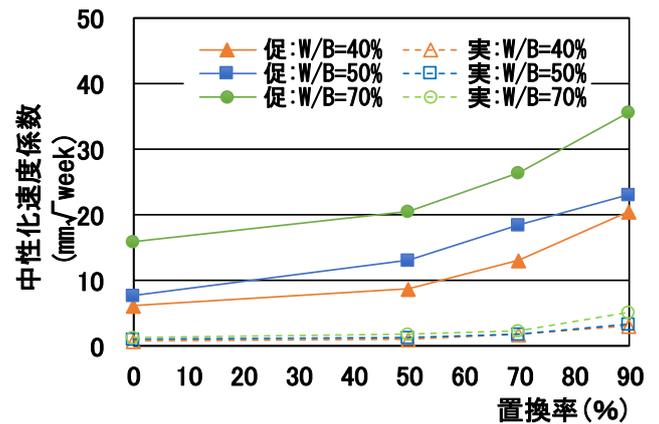


図-1 BFS置換率と中性化速度係数の関係

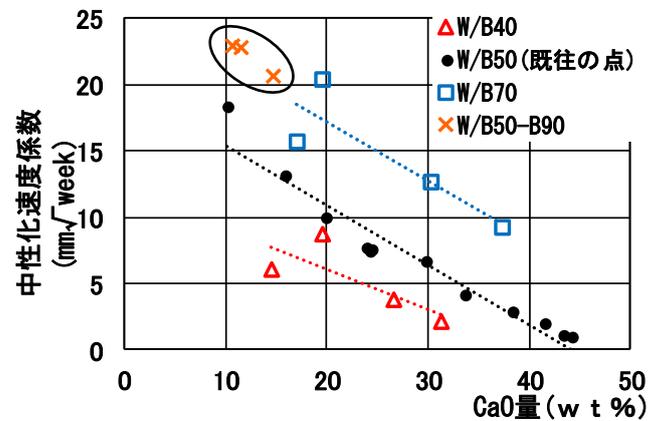


図-2 CaO量-中性化速度係数

表-2 水和物(CH及びC-S-H)中のCaO量の計算シート

養生期間	W/B	置換率	OPC中のC ₃ S	OPC反応率	C-S-H量	BFS中CaO量	BFS反応率	C-S-H量	C-S-H中のCaO量	OPC中C ₃ S	OPC反応率	CH中のCaO量	C-S-H+CH総量
なし	40	B0	60	0.33	8.65	-	-	-	8.65	60	0.33	5.77	14.42
			60	0.34	8.96	-	-	-	8.69	60	0.34	5.97	14.93
			60	0.39	10.25	-	-	-	10.25	60	0.39	6.83	17.08
	70	B50	30	0.55	7.29	21.5	0.34	7.38	14.68	30	0.55	4.86	19.54
			30	0.55	7.29	21.5	0.32	6.94	14.24	30	0.55	4.86	19.1
			6	0.55	1.46	38.7	0.21	8.15	9.61	6	0.55	0.97	10.58
封緘7日	40	B50	30	0.94	12.47	21.5	0.27	5.84	18.3	30	0.94	8.31	26.62
			30	0.94	12.48	21.5	0.38	8.14	20.6	30	0.94	8.31	28.91
			30	0.94	12.47	21.5	0.44	9.43	21.9	30	0.94	8.31	30.21
	50	0.94	2.49	38.7	0.19	7.34	9.8	6	0.94	1.66	11.47		
封緘28日	40	B50	30	1	13.26	21.5	0.43	9.22	22.48	30	1	8.84	31.33
			30	1	13.26	21.5	0.7	15.12	28.38	30	1	8.84	37.23
			6	1	2.65	38.7	0.26	10.23	12.89	6	1	1.77	14.66