

養生終了時の空隙構造と水和物量に立脚した中性化速度係数推定手法の一考察

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○中村 絢也 芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化現象である中性化は現在の性能照査型設計法における照査項目の一つである。中性化の進行は、一般的に空気中の二酸化炭素がコンクリート中の空隙を介して侵入し、アルカリ性を失っていく現象である。この現象はコンクリート中の水酸化カルシウム（CH）やケイ酸カルシウム水和物（C-S-H）が二酸化炭素と反応し、炭酸カルシウムを生成する化学反応であり、浸透と反応の両者が進行に影響すると考えられる。

コンクリートの中性化速度係数はコンクリート標準示方書〔設計編〕に記載されている式(1)より算出することができる。

$$\alpha = -3.57 + 9.0 \cdot W/B \tag{1}$$

この式では、有効水結合材比と結合材の種類を与えることで中性化速度係数が得られる。しかしながらセメントの水和反応は半永久的に継続すると言われており、それに伴い硬化体内の水和生成物と空隙構造が変化する。式(1)には経時で変化する水和生成物量や空隙構造の概念が含まれていない。

そこで本研究では、より精度の高い中性化速度係数を算出するために中性化を開始する時点における水和物量と空隙構造に着目して検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び計画配合

表－1に本研究で使用した計画配合を示す。表－2に使用した粉体の化学組成を示す。本研究では、中性化を開始する時点の水和物量と空隙構造を変化させるために水結合材比、混和材の置換率、養生日数を1, 7, 28日と変化した。

2. 2 中性化試験

中性化試験は、4×4×16cmのモルタル供試体を用いて行った。条件として、促進中性化試験槽（温度20℃、湿度60%、CO₂濃度5%）にて2面開放で実施し、中性化速度係数を算出した。

2. 3 水和物中のCaO量の算出

水和物量の算出においてC-S-Hはゲル状であり直接的に計測できないため水和物中のCaOの量を求めることとした。これはセメントと混和材の反応率より算出した。反応率は以下のように算出した。

OPC：TG-DTAを用いて450～500℃にCHの熱分解による脱水と考え、粉体中のCH量を求めた。そこで材齢28日におけるCH量を100とした際にある材齢で求めたCH量を材齢28日におけるCH量で割ることにより算出した。

GGBFS：サリチル・アセトン・メタノール溶液による選択溶解を用い、未反応スラグを定量し、スラグの反応率を算出した。

2. 4 透気試験

空隙の連続性を計測するためにΦ40×5mmのセメントペーストを使用し透気試験を実施した。事前にアセトン浸漬させることで供試体内の空隙に残存している水分を除去し間隙水による影響をなくした。

表－1 計画配合

略号	W/B	結合材(%)		
		OPC	GGBFS	F
OPC	30 50 70	100	-	-
GGBFS20		80	20	-
GGBFS50		50	50	-
GGBFS70		30	70	-
GGBFS90		10	90	-
F20		80	-	20
F30		70	-	30

表－2 粉体の化学組成

粉体	化学組成 (mass%)												
	Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl
普通ポルトランドセメント(OPC)	0.84	21.28	5.09	3.15	65.36	1.01	2.01	0.32	0.41	0.25	0.14	0.10	0.0006
高炉スラグ微粉末 (GGBFS)	0.20	32.68	13.99	0.32	44.23	5.51	2.02	0.26	0.30	0.50	0.01	0.12	0.003
フライアッシュ (FA)	2.40	55.25	30.23	4.53	2.32	0.93	0.38	0.89	0.45	0.14	0.14	0.03	-

キーワード 中性化, 水和物, CaO 量, 透気試験, 混和材

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 TEL：03-5859-8356 E-mail：me18091@shibaura-it.ac.jp

3. 実験結果

3. 1 中性化速度係数

図-1 に中性化試験により得られた中性化速度係数を示す。同様の材料を用いた中性化試験においても養生期間が異なることで速度係数は変化する。このことは式(1)には反映されていない。

3. 2 水和物になる CaO 量

本研究では、水和反応により水和物中の CaO 量を算出した。図-2 に W/C50%における CaO 量を示す。GGBFS の置換率が大きいと水和物中の CaO 量は少ないことが分かる。また材齢が進行することで CaO 量は増加している。

3. 3 透気試験

図-3 に透気試験より得られた W/B50%の材齢 1 日の透気係数の結果を示す。混和材の置換率が上がるにつれて透気係数は大きくなっていることが分かった。

4. 考察と今後の展開

図-4 に W/C50%における中性化速度係数と CaO 量の関係について示す。この図より、CaO 量が多いほど中性化に対する抵抗が高いことが分かる。置換率が特に高いと中性化速度係数が高いことが分かる。また同様の CaO 量に対して、B90 は中性化速度係数が高いことから、水和物量では整理できない要因があり、それが空隙構造であると考えられる。

図-5 に材齢 1 日における W/C50%の中性化速度係数と透気係数の関係について示す。GGBFS90 は透気係数が極端に大きいことから空隙構造が粗であるため中性化速度係数が大きくなったと考えられる。一方、GGBFS70 と F30 は同程度の透気係数であるが中性化速度係数が大きく異なる。これは OPC の含有量が異なることで F30 の CaO 量は多くなり速度係数が小さくなったことが考えられる。

現在は、水結合材比と養生の相違による変化を透気係数の試験結果を中心に考察し、化学反応と空隙構造による中性化の進行はどのような条件でどちらに律速になるか確認している。

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環境および促進環境における炭酸化進行メカニズムの考察, コンクリート工学論文集, Vol.40, No.1, pp.585-590, 2018

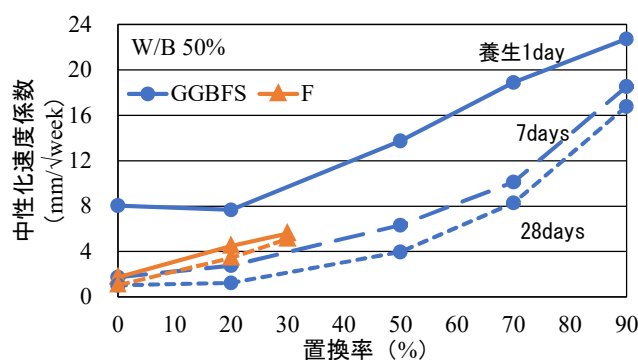


図-1 中性化速度係数

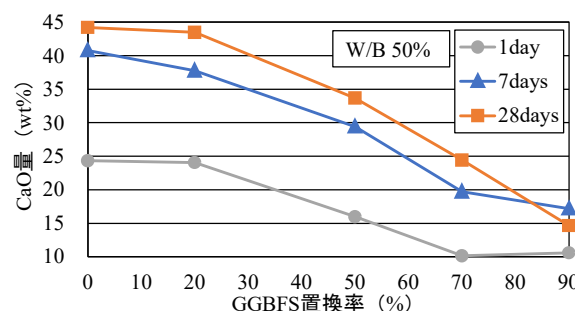


図-2 水和物中の CaO 量

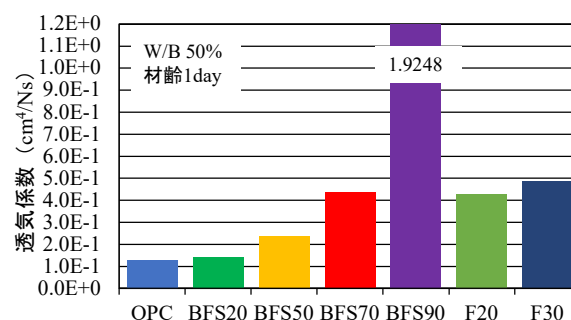


図-3 透気係数

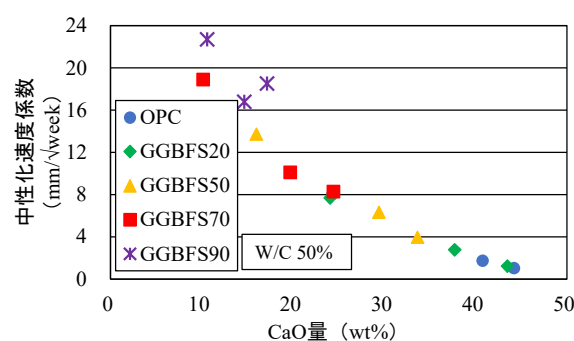


図-4 中性化速度係数と CaO 量の関係

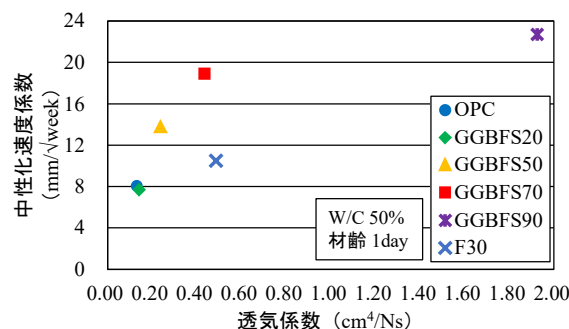


図-5 中性化速度係数と透気係数の関係