

## 高炉セメントを用いたコンクリートにおける中性化速度式の妥当性

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

### 1. 背景および目的

近年、環境負荷低減に向けた取り組みとしてセメント業界では、混和材を使用することで二酸化炭素の排出を抑制している。中でも製鉄所からの副産物である高炉スラグ微粉末（以下：BFS）は安定供給が可能であり、セメントに対して置換率を高く設定して使用することが可能である。高炉セメントを使用したコンクリートにおいては、長期強度の増進、塩害抵抗性、ASR抑制など様々な利点がある一方、耐久性を評価する指標の一つである中性化に対する抵抗性が低いことが懸念されている。一般的に中性化はJISに規定されている促進中性化試験を利用して判断されることが多い。しかしながらBFSを使用した高炉セメントにおいて中性化速度式より予測した、中性化速度係数はBFSが高置換においても対応しているのか不明である。そこで今後、さらなる高炉スラグ微粉末の使用をするために、中性化速度式の妥当性について考察した。

### 2. 試験概要

#### 2.1 計画配合

表-1に本試験で使用したコンクリートの計画配合を示す。今後、普通ポルトランドセメントに対し、BFSを高置換することを想定して置換率は50(50-B50)、60(50-B60)、70(50-b70)、80(80-b80)に設定した。

#### 2.2 中性化試験

図-1に今回実施した中性化試験の実験フローを示す。JISA1153に規定されている「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠して中性化試験を実施した。供試体の寸法は100×100×400mmの角柱とし、打設したコンクリートは翌日脱型した。養生条件は養生なしと標準養生である水中養生4週間の2条件に設定した。養生終了後、恒温恒湿室(温度20±2℃, 相対湿度60%)にて1週間静置し、4週間屋外環境(直射日光の当たらない雨がかりがない場所)にて前養生を実施した。前養生

表-1 コンクリートの計画配合表

W/C-置換率	w/c	置換率 (%)	s/a	w	C		S	G
					OPC	BFS		
50-b0	50	0	46	165	330	-	826	1000
50-b50		50			165	165	821	993
50-b60		60			132	198	820	992
50-b70		70			99	231	819	990
50-b80		80			66	264	818	989

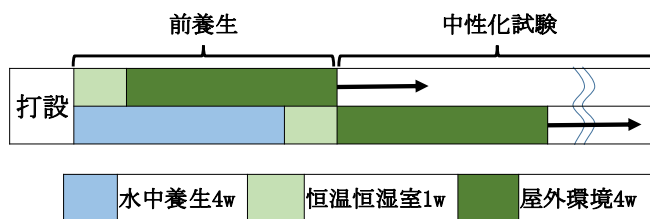


図-1 実験フロー

生終了した時点で一度中性化深さを計測し、その値を中性化期間の原点における中性化深さとした。その後、供試体を側面の2面を除き、アルミテープで巻き促進中性化試験槽(温度20℃, CO<sub>2</sub>濃度5%), 屋外環境にて中性化させ、各材齢において中性化深さを計測した。

#### 2.3 中性化速度係数の算出

中性化試験より得た中性化深さから式(1)に示す $\sqrt{t}$ 則を用いて中性化速度係数を算出した。

$$y = b\sqrt{t} \tag{1}$$

ここに、y: 中性化深さ (mm)

t: 中性化期間 (年)

b: 中性化速度係数 (mm/√年)

また既往の研究により計測データがない場合は水結合材比、セメントの配合のみを考慮して中性化速度係数を予測できる中性化速度式(2)においても算出した。

$$y = \gamma_{cd} \cdot (-3.57 + 9.0W/B)\sqrt{t} \tag{2}$$

ここに、W/B: 有効水結合材比 = W/(C<sub>p</sub>+k · A<sub>d</sub>)

W: 単位体積あたりの水の質量

B: 単位体積あたりの有効結合比の質量

キーワード 混和材, 高炉スラグ微粉末, 中性化, 促進中性化試験, 前養生

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

$C_p$  : 単位体積あたりの OPC の質量  
 $A_d$  : 単位体積あたりの BFS の質量  
 $k$  : 混和材による定数 (BFS=0.7)  
 $\gamma_{cd}$  : 予測の精度に関する安全係数

促進環境における中性化速度係数は魚本・高田式<sup>1)</sup>により実環境における中性化速度係数に換算した。

3. 試験結果

図-2, 3に各養生における配合ごとの中性化深さの経時変化を示す。BFS の置換率が高くなることで中性化への抵抗性は下がるが、養生を施すことで中性化に対する抵抗性は大きく向上していることが分かった。また養生を施した後の前養生をしている段階において供試体を暴露しているため中性化が進行していた。

図-4 に中性化速度式より予測した中性化深さと屋外環境にて実施した中性化期間 26 週時点の中性化深さの関係を示す。前養生による中性化の影響を実測による中性化深さに加算すると中性化速度式から乖離した。スラグの置換率が高い場合には、前養生の影響を考慮すべきである。

図-5 に中性化速度係数の比較を示す。中性化深さより $\sqrt{t}$ 則を用いて中性化速度係数を算出し、魚本・高田式によって実環境の中性化速度係数へと換算した。それららを中性化速度式によって求めた中性化速度係数と比較した。中性化速度係数の値は、長期間における中性化深さを得ることでその値は小さくなった。また BFS の置換率が大きくなるにつれて中性化速度式との関係は大きく乖離していった。この結果より中性化速度式によって算出できる中性化速度係数は、実際に行われた中性化試験によって算出した中性化速度係数に対し、高置換では材料組成の影響により危険側に働くことが分かった。今後、BFS の高置換を使用していくには k 値の値を改めて考え直す必要がある。

4. まとめ

本研究により中性化速度式を使用する際には以下のことを考慮することを提案する。

- 1) 前養生による中性化の影響を考慮する。
- 2) 中性化速度係数は長期間において中性化深さを計測し、そのうえで算出する。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP15K06169, 鐵鋼スラグ協会および日本

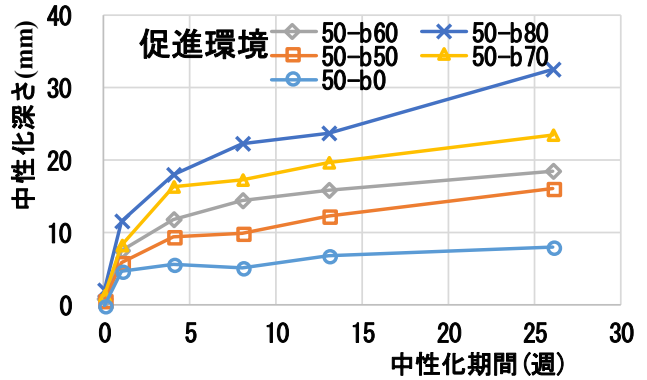


図-2 中性化深さの経時変化 (水中養生 4w)

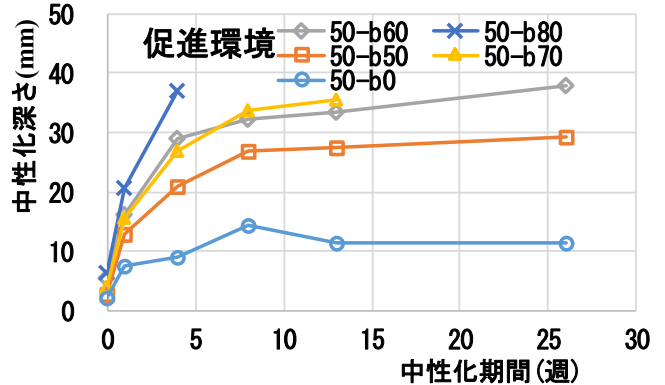


図-3 中性化深さの経時変化 (養生なし)

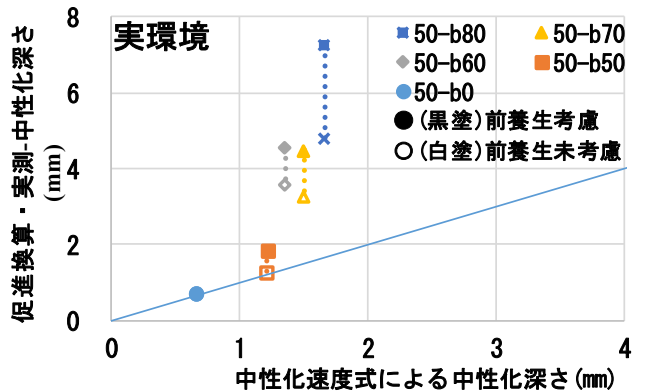


図-4 中性化深さの関係 (水中養生 4w)

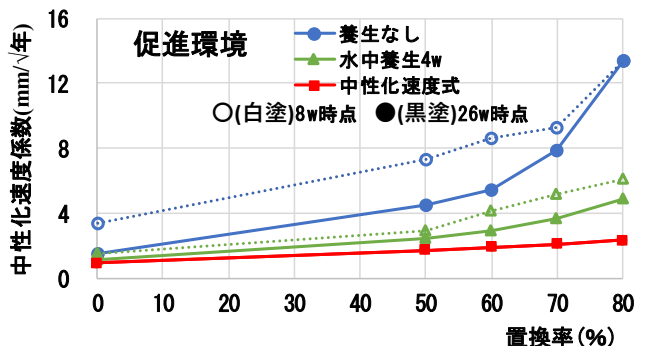


図-5 中性化速度係数の比較図

スラグセメント・コンクリート研究会から助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 魚本健人, 高田良章: コンクリートの中性化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451, V-17, pp119-128