

# 高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの中性化

Carbonation of Modified Belite-Based Cement Concrete with Blast-Furnace Slag

北海道開発土木研究所 ○正員 吉田 行 (Susumu YOSHIDA)  
 北海道開発土木研究所 正員 田口 史雄 (Fumio TAGUCHI)  
 北海道大学大学院 正員 名和 豊春 (Toyoharu NAWA)  
 日鐵セメント(株) 正員 渡辺 宏 (Hiroshi WATANABE)

## 1. はじめに

コンクリート中の鉄筋腐食によるコンクリート構造物の早期劣化は、耐久性の観点から大変重要な問題であり、中性化と塩害はその典型的な要因である。著者らはこれまで、長期的な耐久性を有するコンクリートの開発を目的として、粒度等を改質したビーライト系セメントを用いたコンクリートの諸特性に関する検討を行い、強度や耐凍害性などを改善できることを明らかにしてきた<sup>1,2)</sup>。また、塩分浸透抵抗性については、改質したビーライト系セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換することにより、塩分拡散係数を極めて小さくできることを明らかにしてきた<sup>3)</sup>。しかしながら、ビーライト系セメントや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、一般に中性化に対する抵抗性が普通コンクリートに比べて低いと言われている。

そこで、本研究では、改質ビーライト系セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートの中性化について検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

表-1に使用材料を示す。セメントは、粉砕器を用いて粉末度を高めたビーライト系セメント（以下 B6 と略記）を用いた。高炉スラグ微粉末は、粉末度が 4100cm<sup>2</sup>/g のもの（以下 S4 と略記）と、7200cm<sup>2</sup>/g のもの（以下 S8 と略記）の 2 種類を用いた。高性能 AE 減水剤は、セメントの分散性に応じて 3 種類使い、空気量を調節するため AE 助剤を併せて用いた。

コンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比 (W/B) は 30 および 40% の 2 水準とした。また、スラグ置換率は、セメント内割りで 40 および 60% の 2 水準とした。コンクリートの目標スランブは 8±1cm とし、空気量は 3.5~4.5±1% とした。

### 2.2 実験項目および実験方法

コンクリートの中性化試験は、日本建築学会より提案されているコンクリートの促進中性化試験方法 (案)<sup>4)</sup> に準拠し、10×10×40cm の角柱供試体を用いて、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%、炭酸ガス濃度 5±0.2% の試験条件で行った。なお、供試体は試験前養生として、打設後 20℃水中養生を 4 週間行い、その後、相対湿度 60%±5%、温度 20℃±2℃の環境で 4 週間気中養生を行った。また、材齢 7~8 週の間、供試体の打設面、底面および

表-1 使用材料

結 合 材	ビーライト系セメント (B6) 6400* 高炉スラグ微粉末 (S4) 4100* (S8) 7200*
細 骨 材	登別産陸砂 密度 2.71g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.46%
粗 骨 材	白老産碎石 密度 2.67g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.74%
高性能 AE 減水剤	末端スルホン基を有するポリカルボン酸系
A E 助 剤	樹脂酸塩系

※粉末度 (cm<sup>2</sup>/g)

表-2 コンクリートの配合

配合名	セメントの種類	スラグの種類	スラグ置換率 (%)	W/B (%)	空気量 (%)	SP*の種類	SP添加量 (C*) (%)	s/a (%)	コンクリート単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
									W	C	S	G	SP	AE剤 (C*)
B6-30	B6	-	-	30	3.5	A	0.85	44	113	377	868	1100	3.20	-
B6-40				40	4.5	C	0.70	46	125	313	904	1057	2.19	0.001
OPC-30	OPC	-	-	30	3.5	B	0.70	44	129	430	825	1047	3.01	0.002
OPC-40				40	4.5	C	0.80	46	137	343	874	1022	2.74	-
S4-60-30	B6	S4	60	30	3.5	C	0.80	44	119	397	841	1066	3.18	0.002
S8-40-30			40						118	393	848	1075	3.73	-
S8-60-30			60						118	393	843	1069	5.50	-
S8-60-40			60						40	4.5	A	0.90	46	124

※SP:高性能AE減水剤(分散性:大A-C小)

両端面をエポキシ樹脂でシールして試験に供した。中性化の測定は、試験開始後 1、4、8、13、26 週の材齢で行い、試薬には 1%フェノールフタレインエタノール溶液を用いた。また、本研究では、中性化試験と併せてコンクリートの圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠して、材齢 28 日および 91 日で行った。なお、供試体の養生は、作製後 1 日湿気養生し、脱型後所定の材齢まで 20℃水中養生を行った。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 促進中性化試験

図-1 に中性化試験結果を示す。

W/B=40%では、急激に中性化深さが増大したのに対し、W/B=30%では、中性化深さが最大のものでも 4mm 以下と極めて小さかった。これは、水結合材比を低減したことにより、コンクリートの細粒組織が緻密になり、中性化の原因となる炭酸ガスの進入が抑制されたためと考えられる。各水結合材比ごとに考察すると、W/B=30%の場合、B6 と OPC では差がなく中性化が殆ど進行していなかったが、B6 の一部を高炉スラグ微粉末で置換することで、若干中性化深さが大きくなる傾向がみられる。一方、W/B=40%の場合、OPC と B6 の一部をスラグで置換した

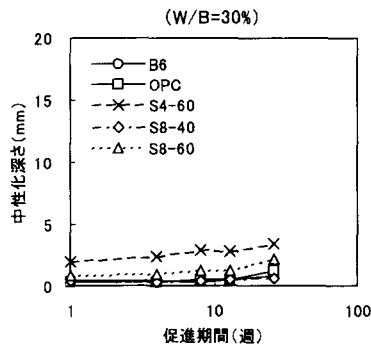


図-1 中性化試験結果

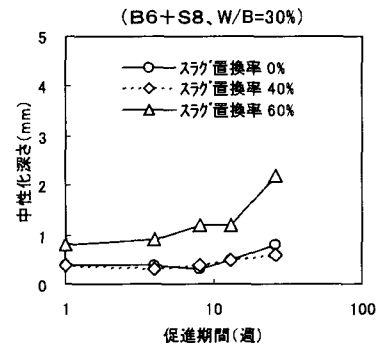
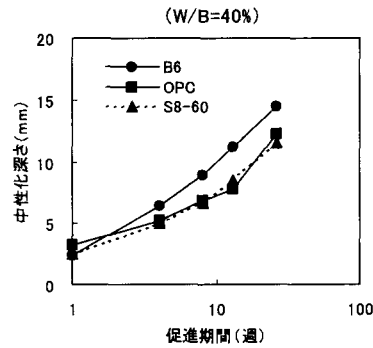


図-2 スラグ置換率の影響

ものでは差が見られなかったが、B6 の中性化深さが若干大きい結果となった。

図-2 に W/B=30%での中性化深さに及ぼすスラグ置換率の影響を示す。置換率が60%と大きい場合、中性化深さが増大する傾向がみられた。このことから、スラグ置換率がある範囲内であれば、細孔組織の緻密化により中性化は抑制されるが、置換率が大きくなると、緻密化による効果よりも、セメントの減少に伴うCa(OH)<sub>2</sub>量の減少の影響が大きくなるものと考えられる。なお、前述したW/B=40%でB6の方がスラグを置換したものよりも中性化深さが大きくなったことに関しては、W/B=40%の領域では、W/B=30%よりも全体に細孔組織が粗いため、スラグ置換による細孔組織の緻密化の影響が大きくなったためと考えられる。

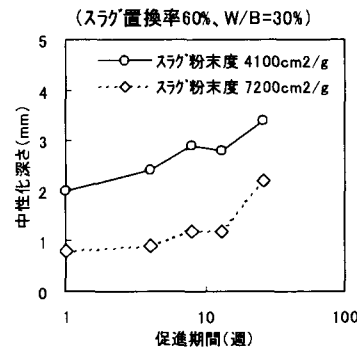


図-3 スラグ粉末度の影響

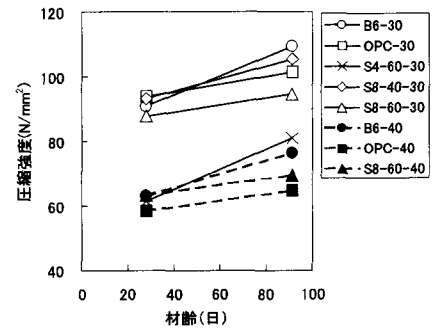


図-4 圧縮強度試験結果

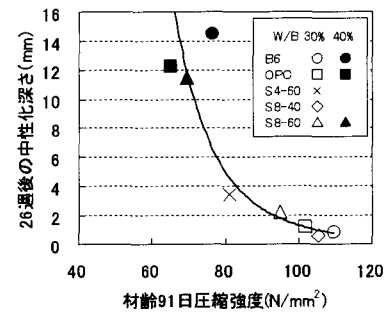
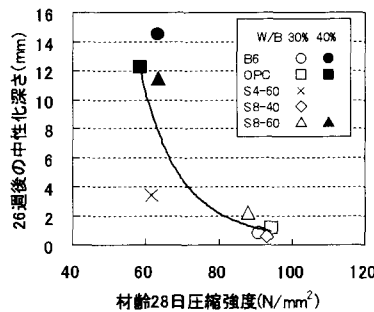


図-5 圧縮強度と中性化深さの結果

図-3 に中性化深さに及ぼすスラグ粉末度の影響を示す。粉末度が大きいほど中性化深さは小さく、これは粉末度が大きいほど細孔組織が緻密化したためと考えられる。

### 3.2 圧縮強度

図-4 に材齢28日および91日における圧縮強度試験結果を示す。各水結合材比ごとに比較すると、材齢28日では、スラグの粉末度が小さいS4-60-30で極端に強度が小さくなっているが、他のケースにおける強度差はそれほど大きくない。一方、材齢91日では、B6の強度および増加の程度が大きく、スラグの置換率が大きく、粉末度が小さいほど強度は小さくなる傾向がみられる。

### 3.3 中性化深さと圧縮強度の関係

図-5 に促進試験26週間後の中性化深さと圧縮強度の関係を示す。中性化深さと圧縮強度は比較的相関が高く、圧縮強度が大きいほど、中性化の進行が抑制される傾向がみられた。一般に、圧縮強度と細孔組織は相関が高いことから、これまで述べたように中性化はコンクリートの細孔組織の影響を大きく受けているものと思われる。

### 4. まとめ

以上のことから、中性化に対する抵抗性は、コンクリ

ートの細孔組織の影響を大きく受けるものと思われる。また、ピーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの中性化抵抗性は、水結合材比の低減や高炉スラグ微粉末の粉末度および置換率を組み合わせることで、普通セメントと同程度とすることが可能であることが明らかとなった。

### 参考文献

- 1) 吉田行、塚孝司、熊谷守晃：改質ピーライト系セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.1、pp.79-84、2000
- 2) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：改質ピーライト系セメントを用いたコンクリートの強度・発熱特性および凍結融解抵抗性、北海道開発土木研究所月報、No.578、pp.4-13、2001.8
- 3) 吉田行、田口史雄、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いた改質ピーライト系セメントコンクリートの塩分浸透性、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、No.1、pp.639-644、2002
- 4) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説、pp.179-184、1991