

高炉セメントの塩害と中性化の複合劣化に対する耐久性 - 室内試験と実環境試験 -

新日鐵高炉セメント（株） 正会員 ○伊代田 岳史
 新日鐵高炉セメント（株） 正会員 兼安 真司
 新日鐵高炉セメント（株） 正会員 檀 康弘
 新日鐵高炉セメント（株） 正会員 前田 悦孝

1. はじめに

近年、高炉セメントは(1)石灰石資源の節約、(2)セメント焼成時のエネルギー削減、(3)地球温暖化の原因となる二酸化炭素ガスの発生量抑制、(4)銑鉄の副産物の有効利用などといった環境負荷低減材料として注目が高まりつつあり、公共工事等での使用頻度が高くなりつつある。さらに養生などの処理を正しく行えば、長期強度や耐久性の高いコンクリートとして期待できる。しかし、複合劣化作用に対する抵抗性については不明な点が多く、高炉セメントを用いた場合の共通認識は得られていない。そこで、本研究では鉄筋コンクリート構造物において最も深刻であると考えられる塩分浸透と高炉セメントの弱点と考えられている中性化の複合劣化に対する抵抗性を評価する試験を行った。特に、室内における促進試験と長期間実環境に暴露した試験を比較することで、塩分と中性化の複合作用をうける高炉セメントコンクリートの耐久性を評価した。

2. 室内促進試験

2.1 試験条件とコンクリート配合

試験環境条件は、促進中性化と塩水乾湿繰り返しを1週間サイクルで繰り返した。促進中性化条件と塩水乾湿条件は表1に示す通りである。

表1 試験条件の一覧

環境	条件
促進中性化	40℃、RH60%、CO ₂ 濃度7.0%
塩水乾湿	浸漬期:30分、NaCl濃度3.5%(12時間)
	乾燥期:30分、温風乾燥(12時間)

コンクリートは水粉体比 55%、単位水量 164kg/m³ の普通コンクリートとし、高炉スラグ微粉末の置換率を0%、25%（高炉セメント A 種相当）、45%（高炉セメント B 種相当）の3水準とした。供試体は 100×100×400mm の角柱供試体で打設翌日に脱型し、20℃の恒温水槽で水中養生を3日間施した。初期養生の終了後、20℃RH60%の恒温恒湿室で供試体を乾燥させ、底面および両端面にエポキシ樹脂を塗装した。試験は初期養生終了後7日間の乾燥期間の後に開始した。各材齢で試験体を割裂してフェノールフタレイン溶液を噴霧した中性化深さの測定と EPMA（電子線マイクロアナライザ）による塩分浸透深さを測定した。

2.2 試験結果と考察

図1は中性化深さの経時変化を示している。促進中性化を施すと複合条件においても普通セメントのみの0%と比較してスラグを置換した25%、45%では中性化深さが大きい結果となった。

その傾向は置換率が高くなるに従い大きくなるが、45%までの置換率においては初期からほぼ同程度の差となった。促進中性化は実環境の百倍以上の速度で中性化することからアルカリの減少している高炉セメントでは不利な結果となると予測できる。写真1は複合促進試験開始から26週経過後の塩分浸透の状況を示したものである。塩分浸透深さを比較すると、スラグを混入した方が浸透深さは小さくなっていることが認められる。中性化による塩分浸透の促進作用とされる塩分の濃縮域はどの試験体においても

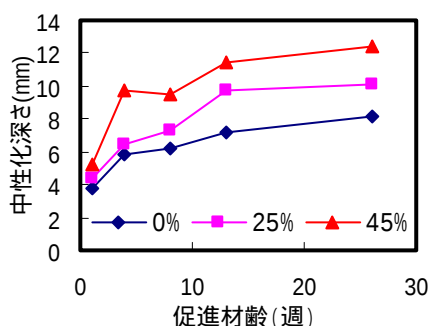


図1 中性化深さの結果（室内試験）

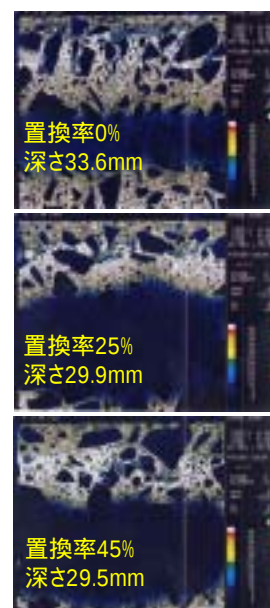


写真1 塩分浸透状況

キーワード 高炉セメント、複合劣化作用、室内促進試験、実環境暴露試験

連絡先 〒803-0801 北九州市小倉北区西港町16番地 新日鐵高炉セメント（株）技術開発センター

認められるため、高炉セメント系の促進作用が大きいとは考えられない。このようにスラグ混入コンクリートは中性化環境においても塩分浸透に対する抵抗性が高いものと考えられる。

3. 実環境暴露試験

3.1 試験条件とコンクリート配合

試験環境条件は、海岸線から数十 m 離れた鉄道高架橋の梁部に試験体を静置

表2 試験体の概要

試験体符号	セメント種	置換率(%)	W/B(%)	s/a(%)	圧縮強度(MPa)
	普通 + スラグ	55	48	41.0	26.7
	早強 + スラグ	55	48	40.4	-
	普通	0	53	45.0	26.0

したもので、飛来塩分と雨水などの乾湿繰り返し作用、中性化の両者の影響を受ける。

コンクリートは表 2 に示す通りの 3 種類で、スラグを置換したセメントを使用した系においては普通セメントを利用した系の材齢 28 日の圧縮強度と同程度となるように水粉体比を 5% 低く設定した。試験体は 150 × 150 × 530mm の角柱試験体を用いており、打設後 1 日で脱型し初期養生として 2 日間水中養生後、試験環境に静置した。各材齢においてフェノールフタレイン溶液を噴霧した中性化深さの測定と表面から 10mm ずつ深さ方向に切断した試料を用いて全塩分量の測定を行った。

3.2 試験結果と考察

図 2 に材齢経過後の中性化深さの経時変化と併せて土木学会示方書の各セメントの推定式から算出した経時変化予測を併記した。材齢 16 年経過後において早強セメントを用いたものは若干中性化深さが小さいが大差は認められない。また、示方書推定式と比較すると高炉スラグを混入した系でも推定式を大幅に下回っており、普通セメントの推定式と同等である。このように圧縮強度を同程度とし初期養生を施し、さらに雨水などの水分供給を受けた試験体においては、高炉セメントであっても中性化に対する抵抗性は普通セメントと大差ないといえる。図 3 は材齢 16 年時の全塩分量の測定結果を深さ方向ごとに示したものである。なお、試験体にはシール等を施していないため、試験体全面からの外部侵入物の影響を受ける。表層面近傍の塩分量は早強セメントを使用したが高くなっているが、内部への浸透は小さくなっている。さらに、高炉セメント系のでも、普通セメントを使用したと比較して内部への塩分浸透量は小さくなっていることが認められ、塩分浸透に対する抵抗性が普通セメントよりも高炉セメントの方が高いことを示している。

このように室内試験においては塩分浸透より中性化の方が、促進倍率が高くなりやすく、材齢初期において中性化が卓越する条件となりやすい。一方で、実環境では中性化より塩分浸透が卓越する条件にあると考えられる。このため、高炉セメント系を室内促進試験で評価するには、促進倍率や劣化が威力の相違に十分配慮する必要がある。

4. まとめ

以下に中性化と塩分浸透の複合劣化試験の室内試験と実環境下の試験を比較して得られた知見を示す。

- (1) 室内促進試験においては中性化の促進倍率が高くなりやすく、中性化が塩分浸透を卓越する条件となりやすい。そのため高炉スラグ微粉末を混入した場合には、不利な評価を受ける可能性がある。
- (2) 実環境暴露試験では、高炉スラグ微粉末で置換したセメントにおいても圧縮強度が同程度であれば、中性化の進行は普通セメントと同等程度であるといえる。また塩分遮蔽性は普通コンクリートより高い。
- (3) コンクリートにおける複合劣化評価は、室内促進試験の場合、実環境と促進倍率や劣化外力が異なることを配慮して評価する必要がある。

【参考文献】佐伯竜彦他：混和材が塩害と中性化の複合劣化に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.24, No.1, 2002

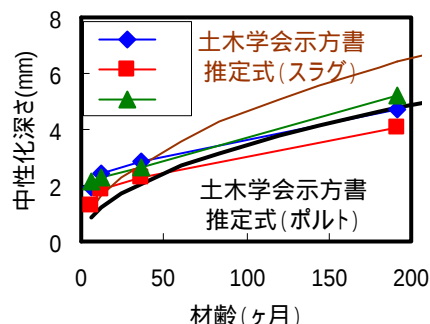


図2 中性化深さの結果 (実環境)

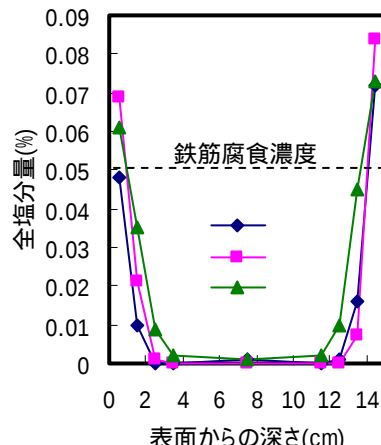


図 3 塩分浸透量 (実環境)