

海洋環境下に 20 年間暴露した高炉スラグ微粉末混入コンクリートの鉄筋の発錆状況および塩化物イオン浸透性

住友大阪セメント(株) 正会員 ○齋藤尚 住金鉱化(株) 犬塚大志
住友金属工業(株) 赤羽健一 日立セメント(株) 椎野宏明

1. はじめに

高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートは海水に対する抵抗性が向上するとされており¹⁾、これまでに海洋環境下に暴露した研究^(例えば2)が数多く行われている。本研究は、海洋環境下における高炉スラグ微粉末混入コンクリートの海水に対する抵抗性を評価することを目的として、1989年から水結合材比(W/B)や高炉スラグ置換率をパラメータとしたコンクリートを、感潮部、海中部、海浜部および標準養生の4種類の異なる環境下で暴露試験を行った。ここでは、材齢20年経過した高炉スラグ微粉末混入コンクリートの鉄筋の発錆状況、発錆面積率および塩化物イオン浸透性の結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体

コンクリートの配合はW/B=40, 55, 70%の3種類、BFS置換率0, 45, 70, 90%の4種類の計12ケースとした。また、フレッシュコンクリートの目標値は、スランプ8.0±2.0cm、空気量4.0±1.0%とした。

供試体の形状は、φ150×300mmの円柱供試体である。供試体にはφ9mmの丸鋼(当時JIS規格:SR24, 現行JIS規格:SR235)がかぶり30mmおよび50mmとなる位置にそれぞれ埋設している。なお、丸鋼表面の黒皮は、供試体作製前に除去している。

2.2 養生方法および暴露方法

供試体の養生方法は、暴露養生(感潮部、海中部、海浜部)および標準養生とした。暴露養生用供試体は、初期の養生を十分に行うために材齢21日まで20℃標準養生を、材齢28日まで20℃60%R.H.の環境下で気中養生を行った後に、暴露を開始した。暴露養生は、感潮部および海中部については住友金属工業株式会社鹿島製鉄所の港湾内で行い、海浜部については同製鉄所構内の海水飛沫を受ける場所にて行った。標準養生は、20℃の恒温室で行った。

2.3 試験方法

暴露養生が終了した供試体は、鉄筋をはつりだした後に、鉄筋の発錆状況を確認した。鉄筋の発錆状況を確認後は発錆面積率を測定した。発錆面積率は鉄筋の表面積に対する発錆面積の比として算出した。鉄筋をはつり出した供試体は、試体表面から5~30mm(表面部)、30~55mm(中間部)および55~75mm(中心部)の3点から試料を採取して、JCI-SC4に準拠して、コンクリート中の全塩化物イオン量を測定し、塩化物イオン浸透性を確認した。なお、全塩化物イオン量は、表面部および中間部は材齢6年、10年、20年に、中心部は材齢1年、3年、6年、10年、20年にそれぞれ測定した。

3. 実験結果

3.1 鉄筋の発錆状況および発錆面積率

表-1に材齢20年における各かぶりにおける鉄筋の発錆状況の一例として、W/B=55%で海中部に暴露した結果を示す。表より、BFS置換率0%は鉄筋全体に発錆が認められるのに対して、BFS置換率の増加に伴い、局所的な発錆に抑制されることがわかる。特に、BFS置換率90%でかぶり50mmの場合には、錆が数点確認される程度である。これは、BFS置換率の増加によって、塩化物イオンの浸透性に及ぼすとされている硬化体組織の緻密化が影響している。

表-1 鉄筋の発錆状況 (W/B=55%, 海中部)

BFS 置換率 (%)	かぶり	
	30mm	50mm
0	××	××
45	×	×
70	×	×
90	×	△

△: 1mm程度の赤褐色の錆5個以下

×: 局所的な発錆が認められる

××: 全体に発錆が認められる

キーワード 海洋暴露, 材齢20年, 高炉スラグ微粉末, 発錆面積率, 全塩化物イオン量

連絡先 〒274-8601 千葉県船橋市豊富町585 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 TEL 047-457-3975

と考えられる。

図-1 に材齢 20 年における鉄筋の発錆面積率の一例として、W/B=55%で海中部に暴露した結果を示す。図より、高炉スラグ置換率 0%および 45%は、BFS の混入によって発錆面積率が減少しており、既往の研究²⁾で示されている結果と同様の傾向を示した。また、BFS 置換率 70%および 90%は、かぶりによってばらつきが認められるが、BFS 置換率 45%よりも BFS を混入させることでより発錆面積率を減少させることが可能である。

3.2 塩化物イオン浸透性

図-2 に鉄筋位置付近（中間部：30-55mm）における全塩化物イオン量の経時変化の一例として、W/B=55%で海中部に暴露した結果を示す。なお、全塩化物イオン量は、コンクリート質量に対する質量百分率で示している。図より、各配合の全塩化物イオン量は、材齢 10 年から 20 年にかけて、BFS 置換率 0%および 45%で大きくなっているが、BFS 置換率 70%および 90%では材齢の経過による全塩化物イオン量の増加はほとんどみられない。これは、BFS 置換率の違いによって、空隙構造が異なり、塩化物イオンの浸透性に影響を及ぼしたと考えられる。また、材齢 20 年における鉄筋位置付近の全塩化物イオン量はいずれの BFS 置換率においてもコンクリート標準示方書³⁾で示されている鉄筋の腐食発生限界濃度 0.05% (1.2kg/m³) を大きく超えている。これは、鉄筋の発錆状況と合致する結果となった。

図-3 に材齢 10 年と 20 年の全塩化物イオン量の一例として、W/B=55%で海中部に暴露した結果を示す。なお、BFS 置換率 90%は、BFS 置換率 70%と同程度の値であったため除外した。図より、材齢 10 年では BFS 置換率の増加に伴い、いずれの場所においても全塩化物イオン量は小さくなった。一方、材齢 20 年では、BFS 置換率 0%および 45%は表面部(5-30mm)よりも中間部(30-55mm)または中心部(55-75mm)の全塩化物イオン量の方が大きくなったが、BFS 置換率 70%は材齢 10 年と同様の傾向を示した。これより、3.1 節でも示したように、BFS 置換率 70%であれば、コンクリート内部への塩化物イオンの浸透を遅らせることができ、海水に対する抵抗性が向上すると考えられる。

4. まとめ

- (1) 鉄筋の発錆および発錆面積率は、かぶりによらず、BFS 置換率の増加に伴って、少なくなる傾向を示した。
- (2) 全塩化物イオン量は、いずれの BFS 置換率においても材齢の経過に伴って、増加する傾向を示すが、その程度は BFS 置換率によって異なる。材齢 20 年が経過すると、BFS 置換率 0%および 45%ではコンクリート内部への塩化物イオンの浸透が認められた一方で、BFS 置換率が 70%および 90%の場合には、コンクリート内部への塩化物イオンの浸透を遅らせることができ、海水に対する抵抗性が向上することがわかった。

謝辞

本研究を行うにあたり、東京工業大学 大即信明教授にご指導、ご助言をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献 1) 土木学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針，コンクリートライブラリー86，1996 2) 福手勤，山本邦夫，濱田秀則：海水を練り混ぜ水とした海洋コンクリートの耐久性に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.29，No.3，pp.57-93，1990 3) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.119-122，2007

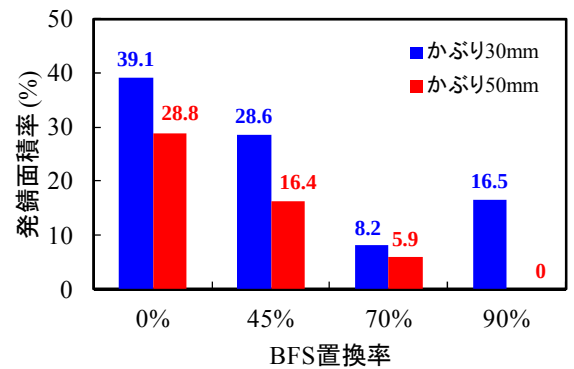


図-1 鉄筋の発錆面積率 (W/B=55%, 海中部)

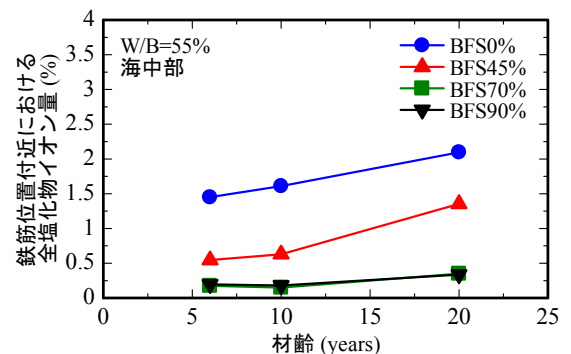


図-2 鉄筋位置付近における全塩化物イオン量の経時変化 (W/B=55%, 海中部)

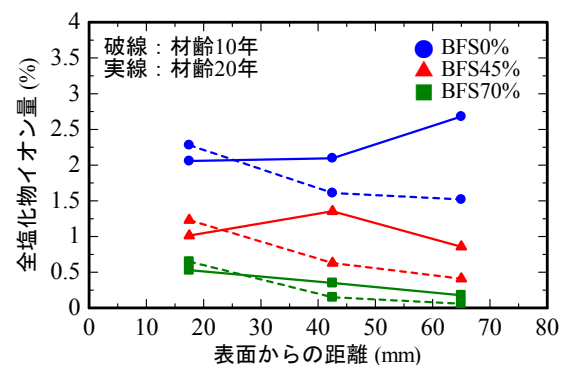


図-3 材齢 10 年および 20 年の全塩化物イオン量の比較 (W/B=55%, 海中部)