

塩害環境下にある高炉セメント C 種コンクリートに埋設された鉄筋の防食性能について

大分工業高等専門学校 正会員 山本大介

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラル達成のためには、全世界的に二酸化炭素排出の大幅な削減を実現しなければならない。そのような中、様々な研究機関で技術開発が盛んに行われている。本実験では高炉スラグ微粉末を大量内割り置換しセメントクリンカー量を大幅に削減できる高炉セメント C 種に着目し、高炉セメント C 種からなる鉄筋コンクリートの埋設鉄筋の耐腐食性について実験的検討を行った。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメント（以下 OPC）、高炉セメント B 種（以下 BB）、高炉セメント C 種（以下 BC）からなる W/B=50%の鉄筋埋設コンクリート供試体を作製した。図-1 に D16 異形鉄筋を埋設した供試体の形状寸法を示す。BB は市販のプレミックスタイプを使用し、BC は OPC と高炉スラグ微粉末を混合したものをを用いた。BC に使用する高炉スラグ微粉末は 4000 ブレーン（以下、配合名 BC4000）および 6000 ブレーン（以下、配合名 BC6000）とし、石膏添加量は 2%とした。コンクリート配合を表-1 に示す。

打設翌日に脱型し、材齢 28 日まで 20℃水中養生したもの（以下、水中）と材齢 28 日まで 20℃、RH90%で気中養生したもの（以下、気中）を準備した。28 日材齢後、かぶり 2cm となる供試面以外をエポキシ樹脂でシールし、10%NaCl 水溶液にて 5 日乾燥 2 日浸漬を 1 サイクルとする乾湿繰り返しを行った。

また、腐食状態、不動態状態をモニタリングするため、経時的に埋設鉄筋の自然電位、分極曲線の計測を

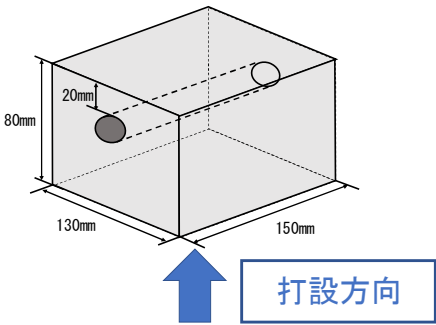


図-1 矩形供試体形状寸法（単位：mm）

行った。自然電位は ASTM C876 の評価基準に従い腐食状態の判定を、また自然電位から±200mV の電位掃引より求められる分極曲線から、ターフェル直線外装法¹⁾を用いて腐食電流密度を求め、CEB 判定基準から腐食速度の判定を行った。

3. 実験結果

図-2 に自然電位の経時変化を示す。水中供試体は材齢 7 日から、気中供試体は材齢 49 日から計測を行った。材齢 120 日まではどの水中供試体も-350mV を下回り、特に高炉スラグを含む供試体の電位が低く、90%以上の確立で腐食ありの判定となった。気中供試体はほとんどが-200～-350mV の域にあり不確定と判定された。この結果については、比較的材齢初期であったこともあり、鋼材周辺環境の溶存酸素が低かった可能性があり、その影響で腐食していなくても腐食領域を示す低い自然電位を示したと思われる。

材齢 390 日以降は水中養生も気中養生も相対的に電位が高くなったが、気中 OPC のみ顕著に自然電位の低下が認められた。

表-1 コンクリート配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	air (%)	単位量(kg/m³)							AE 減水剤 (kg/m³)
				水 W	結合材 総量	結合材			細骨材 S	粗骨材 G	
						セメント C	高炉スラグ BFS	石膏 (2%)			
OPC	50	50.0	4.5	180	360	0	0	0	857	901	-
BB				180	360	0	0	0	850	894	-
BC6000				180	360	108	247	5.0	848	891	3.60
BC4000				180	360	108	247	5.0	848	891	3.60

キーワード：高炉セメント C 種、埋設鉄筋、電気化学的計測、塩害、腐食

連絡先：〒870-0152 大分市大字牧 1666 番地 Tel：097-552-7623 Email：d-yamamoto@oita-ct.ac.jp

図-3 に水中供試体の材齢 91 日および材齢 462 日の分極曲線を、図-4 に気中供試体の材齢 91 日および材齢 492 日の分極曲線を示す。図-3 より、材齢 91 日に着目するとアノード曲線より不動態状態は $OPC < BC4000, BB < BC6000$ で良い傾向と判断できる。さらに水和が安定した材齢 462 日ではすべての水中供試体の不動態状態がさらに改善されていることがわかる。その中でも $BC6000$ が最も良い不動態状態を示した。図-4 の気中供試体に着目すると、材齢 91 日時点では水中供試体に比べ相対的に自然電位が高く、不動態状態も比較的に良いと判断される。材齢 492 日の不動態状態は $BB, BC4000, BC6000$ はほぼ同程度で良い不動態状態と判断された。一方で OPC のみ不動態状態の悪化が見られた。

図-5 にターフェル外挿法で求められた腐食電流密度を示す。材齢 91 日の水中供試体に着目すると、気中に比べどの供試体も腐食電流密度が高い。これは、自然電位の結果と同様の理由で、まだ水和が十分でなく、さらに鋼材近傍の溶存酸素が少なかったことが原因と推察される。一方で、材齢 462 日、492 日では気中 OPC は自然電位、分極曲線の傾向と同じく他の供試体に比べ腐食電流密度が最も高く、次に水中 BB が高い結果となった。ただし、本実験で腐食電流密度が最も高いと判定された気中 OPC 材齢 492 日であっても、 CEB 基準によると腐食速度は不活性と判定されるものであり、 OPC を含むすべての供試体で未だ発錆の兆候は見られなかった。

以上の結果より、本研究の範囲内では、 BC の防食性能は BB よりも優れ、高炉スラグ微粉末 6000 を用いた BC はさらに防食性能が向上する結果となった。また、防食性能のみに着目した場合、水中・気中の養生条件は結果に大きく影響しないことが示された。

4. まとめ

- ・ 高炉スラグ微粉末を 70%内割り置換する BC であっても、埋設鋼材は十分に不動態状態になる。
- ・ BC は BB に比べより防食性能が高いことが示された。またブレン 4000 よりもブレン 6000 の方が高い防食性能を示した。

【参考文献】

1. 電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会報告書，日本コンクリート工学会，2018

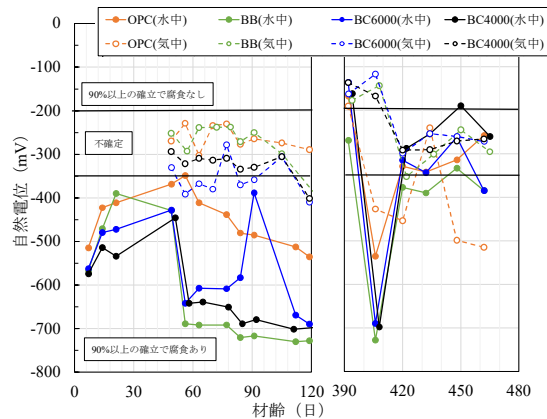


図-2 自然電位経時変化

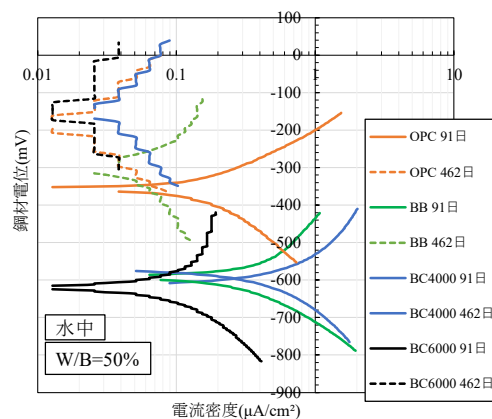


図-3 分極抵抗の時間変化（水中）

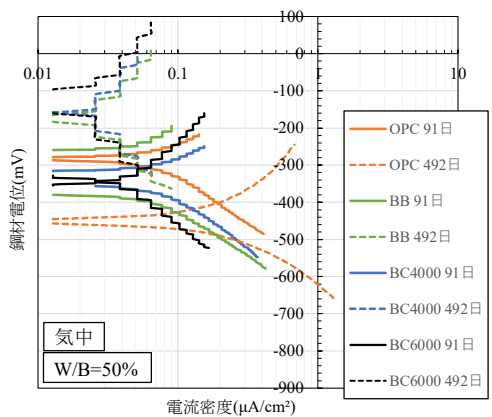


図-4 分極抵抗の時間変化（気中）

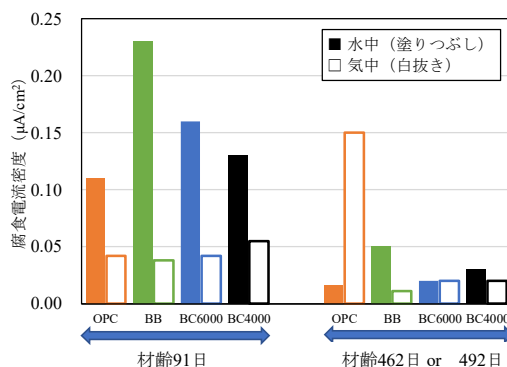


図-5 腐食電流密度