

V-121

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート中の鉄筋の電気化学的特性について

京都大学大学院 学生員 中村士郎 正会員 小林孝一
正会員 服部篤史 フェロー 宮川豊章

1.はじめに 近年盛んに研究が行われている高流動・高強度コンクリートでは、水和熱の低減やフレッシュ時の流動性改善などのために高炉スラグ微粉末（以下スラグ）を用いることが多い。スラグを用いたコンクリート（以下スラグコンクリート）は、普通コンクリートに比べて塩化物イオンなどが内部まで浸透しにくく、塩害による鉄筋腐食に対する耐久性が優れていると考えられるが、従来から鉄筋の腐食診断に良く用いられている自然電位、分極抵抗などの電気化学的測定では、腐食のほとんど生じていないスラグコンクリート中の鉄筋の自然電位がASTMの判定基準で腐食領域に判定されるなど、スラグの使用が鉄筋の電気化学的特性に影響を与える可能性も指摘されている¹⁾。本研究では、普通コンクリートとスラグコンクリート中の鉄筋の電気化学的特性の比較を行った。

2.実験概要

2.1 配合 水結合材比(W/B)を55、70%の2種類とし、それぞれの水結合材比でスラグ置換率を0、60%とした計4配合を基本配合とした。配合表を表1に示す。塩害による鉄筋腐食を想定し、表1の配合に対して、塩化物イオン量(Cl⁻量)で0、1.3、3.0、5.0kg/m³のNaClを練混ぜ時に混

表1 配合表

W/B (%)	s/a (%)	スラグ置換率(%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	Sg	S	G
55	49	0	185	336	0	889	957
		60		134	202	882	950
70		0		264	0	917	988
		60		106	158	912	982

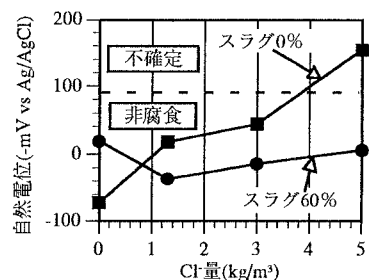
入させた。また、中性化による鉄筋腐食についても検討するため、W/B=70%の供試体では中性化促進を行った。スラグは比表面積が4000cm²/g程度のものを用いた。

2.2 養生、暴露方法 供試体は10×10×40cmの角柱供試体とし、各供試体にはD10の鉄筋2本をかぶり2cmで配置した。材令1日で脱型し、材令14日まで湿布養生、その後材令28日まで気中で乾燥させ、材令28日以降は実験室内で1日1回水道水による散水を行い、乾湿繰返し環境として鉄筋の腐食を促進させた。中性化促進を行う供試体では、材令28日まで他の供試体と同様の養生を行い、材令28日から温度20±2℃、相対湿度60±5%、炭酸ガス濃度5±0.2%の促進槽で45～90日間の中性化促進を行った後、乾湿繰返し環境に暴露した。

2.3 測定方法 材令2日から約2週間間隔で、照合電極に飽和塩化銀電極(Ag/AgCl)を用いて鉄筋の自然電位、分極抵抗を測定した。分極抵抗の測定は矩形波電流法(電流10～100μA、周波数800Hz、0.1Hzの矩形波重量パルス)によって行い、分極抵抗の逆数が鉄筋の腐食速度と比例関係にあると考えられることから、分極抵抗の測定値R_pと鉄筋の表面積Aより算出した腐食速度指標1/(R_p×A)、これを時間積分した腐食量指標∫1/(R_p×A)dtを用いて鉄筋の腐食速度、腐食量に関する検討を行った。また、材令270日程度ですべての供試体の鉄筋をはつりだし、鉄筋の腐食面積率、腐食減量を測定した。

3 実験結果及び考察

3.1 スラグ置換率およびCl⁻量が鉄筋の電気化学的特性に与える影響 W/B=55%、スラグ置換率が0、60%で、Cl⁻をそれぞれ0、1.3、3.0、5.0kg/m³含んだ場合の材令270日における鉄筋の自然電位を図1に示す。図1に示すように、コンクリート中に塩分を含まない場合には、スラグ置換率に関わらず自然電位は非腐食領域に分類され

図1 Cl⁻量と自然電位の関係（材令270日）

キーワード：高炉スラグ微粉末、鉄筋腐食、自然電位、分極抵抗

〒606-8501 京都市左京区吉田本町京都大学工学部土木工学科構造材料科学研究室

る。本実験では、塩分をほとんど含まないスラグコンクリート中の鉄筋の自然電位が見掛け上卑になるような現象は認められなかった。また、コンクリート中に塩分を含む場合、スラグを含まない普通コンクリートでは、 Cl^- 量の増加に伴い自然電位が卑変し、 Cl^- を 5kg/m^3 含む場合には不確定領域に分類されるのに対し、スラグ置換率が 60% とした場合には、 Cl^- 量が自然電位に与える影響は小さくなった。本実験の範囲ではスラグコンクリートの方が普通コンクリートに比べて塩害に対する鉄筋の防食効果は高いと考えられる。

3.2 塩害と中性化の複合作用が鉄筋の電気化学的特性に与える影響

W/B=70%、スラグ置換率が 0、60% で 45、90 日間の中性化促進を行った場合の中性化深さを表 2 に示す。W/B が 70% と大きい場合にはスラグ置換率を 60% としたスラグコンクリートの中性化速度は大きい。スラグの反応によって $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費され则认为られる。スラグを含まない普通コンクリートでは 促進期間約 90 日、スラグコンクリートでは 促進期間約 45 日で中性化が鉄筋位置まで達していた。このような中性化促進を行った供試体中の鉄筋の自然電位、腐食量指標を図 2、3 に示す。コンクリート中に塩分を含まない場合、中性化深さの大きいスラグコンクリートでは、自然電位は卑変したものの腐食量指標は非常に小さい。しかし、塩分を含む場合には、自然電位はスラグ置換率に関わらず中性化の作用により大きく卑変し、中性化が鉄筋位置まで達していない場合にも腐食領域に分類された。腐食量指標もスラグ置換率に関わらず中性化深さの増大とともに大きくなっている。したがって、中性化の生じたコンクリートでの鉄筋腐食は、スラグ置換率に関わらず塩分量の影響を大きく受け、中性化と塩害が複合的に作用するような場合には、激しい腐食が生じる可能性がある。

3.3 腐食量指標と実際の腐食量の関係 分極抵抗の測定値から算出した腐食量指標は、はつりだした鉄筋の腐食減量に対応すると考えられる。材令 270 日ではつりだした鉄筋の腐食減量と腐食量指標の関係を図 4 に示す。腐食減量が小さい場合にはばらつきが大きいものの、両者には相関が見られ、塩分量や中性化深さが腐食減量に与える影響についても 3.1、3.2 節で述べた推定結果とはほぼ一致していた。また、鉄筋の腐食減量と腐食量指標の間の比例定数 K 値は 14mV であった。スラグが K 値に与える影響はほとんど見られず、本実験の範囲では分極抵抗などの腐食モニタリングの結果から鉄筋の腐食量を推定する上でスラグの有無を特に考慮する必要はないとえられる。

4. 結論 本研究の範囲では、スラグの使用によって塩害による鉄筋腐食に対する耐久性は向上するが、中性化速度が大きくなることから塩害との複合的な作用によって激しい腐食が生じる危険性もあるという推定結果となり、実際にはつりだした鉄筋の腐食状況も同様の傾向を示した。しかし、環境条件が違う場合などにスラグが鉄筋腐食や鉄筋の電気化学的特性に影響を与える可能性もあり、今後検討を行う必要がある。

参考文献 1) 小林孝一など：高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの耐久性について、第 23 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.60-65、1996.10

表2 中性化深さ

W/B (%)	スラグ置換率 (%)	中性化深さ (mm)		中性化速度係数 (mm/√day)
		促進45日	90日	
70	0	12.9	18.9	1.94
	60	21.6	34.0	3.43

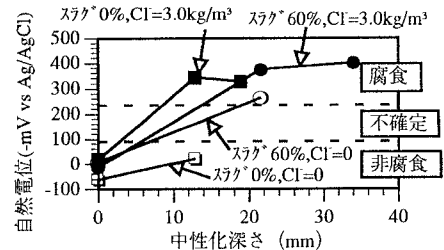


図2 中性化深さと自然電位の関係（材令270日）

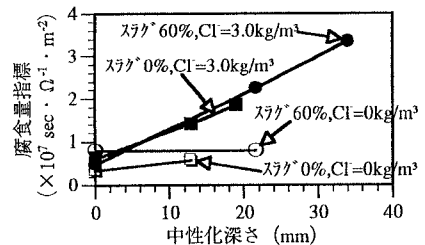


図3 中性化深さと腐食量指標の関係（材令270日）

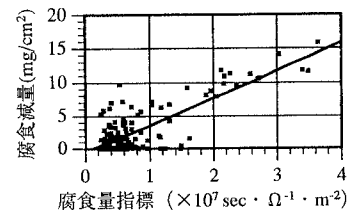


図4 腐食量指標と腐食減量の関係