

早強ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混和した
コンクリートの鋼材腐食抵抗性に関する研究

福岡大学大学院 学生会員 ○森裕介 福岡大学大学院 学生会員 山田正健

福岡大学大学院 正会員 添田政司 福岡大学 正会員 樋原弘貴

1. はじめに

早強ポルトランド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、塩化物イオン浸透抵抗性について検討がなされている¹⁾。しかしながら、水結合材比やスラグ置換率、ブレン値を変化させた場合の、鋼材腐食に対する抵抗性については、十分な知見が得られていない。そこで本研究では、早強ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの鋼材腐食抵抗性を、分極抵抗により評価した。また、分極抵抗と塩化物イオン浸透との関係性や、浸透環境での抵抗性の違いを検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントは、普通ポルトランドセメント（略号：N）、早強ポルトランドセメント（略号：H）を用いた。混和材には、高炉スラグ微粉末 4000 ブレン（略号：B4）、6000 ブレン（略号：B6）を使用した。細骨材と粗骨材は、海砂（略号：S）と碎石（略号：G）を用いた。表-2 には、コンクリートの配合表を示す。配合表の記号は、(セメント種類) (W/B) (ブレン) (置換率) の順で記載した。スランプと目標空気量は、10±2.0cm、4.5±1.5%とした。

表-1 コンクリートの配合表

記号	置換率 (%)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)								
			W	B=N+H+B4+B6				S	G	AE減水剤	AE剤
				N	H	B4	B6				
N45	—	45	162	360	—	—	—	776	1022	5.3	1.3
N45 B4 50	50		164	182	—	182	—	755	1035	5.5	1.4
N45 B4 60	60		162	144	—	216	—	759	1041	5.5	1.4
N45 B4 70	70		160	107	—	249	—	762	1046	5.3	1.3
N45 B4 80	80		157	70	—	279	—	768	1054	4.9	1.2
H40	—	40	164	—	410	—	—	722	1031	6.2	1.6
H45		45	164	—	364	—	—	772	1017	5.5	1.3
H50		50	164	—	328	—	—	803	1016	5.0	1.2
H40 B4 30	30	40	162	—	284	122	—	725	1037	6.2	1.5
H40 B4 50	50		163	—	204	204	—	723	1034	6.2	1.5
H45 B4 30	30	45	163	—	253	109	—	774	1020	5.5	1.4
H45 B4 50	50		161	—	179	179	—	778	1025	5.4	1.4
H50 B4 30	30	50	160	—	224	96	—	829	1007	4.9	1.2
H50 B4 50	50		158	—	158	158	—	815	1030	4.4	1.1
H40 B6 50	50	40	165	—	207	—	207	702	1046	6.3	1.6
H40 B6 70	70		166	—	125	—	291	701	1043	6.5	1.6
H45 B6 50	50		166	—	185	—	185	751	1030	5.8	1.4
H45 B6 70	70	45	163	—	109	—	253	757	1038	5.7	1.4
H50 B6 50	50		159	—	159	—	159	741	1103	4.1	1.0
H50 B6 70	70	50	157	—	94	—	220	744	1108	4.0	1.0

2.2 試験項目および方法

(1)鋼材腐食促進試験：図-1 には、腐食発生限界塩化物イオン測定用供試体を示す。供試体は、28 日間の水中養生を行い、養生後は、かぶり厚さ 20mm の位置に容器を取り付けた。その後、温度 20±2.0℃、湿度 60±5%の環境下で、濃度 10%の NaCl 溶液を浸透させながら、自然電位の経時測定を行い、-350mV に卑下した時点で供試体を解体した。解体前には、JIS A 1154 に準拠して、浸透深さ 0mm～20mm から 5mm 間隔で試料を採取し、全塩化物イオン量および pH の測定を行った。なお、腐食が発生していない供試体は、浸透期間 6 ヶ月目で、アルミ板と電極により分極抵抗を測定した。図-2 には、曝露用供試体を示す。供試体は、28 日間の水中養生後に、飛沫帯環境に暴露した。また、同様の供試体を用いて、室内で半浸漬試験（NaCl 濃度：3%）も行った。分極抵抗は、いずれの供試体でも、曝露期間および浸漬期間 6 ヶ月目において測定を行った。(2)塩水浸漬試験：JSCE-G572 に準拠し、28 日間水中養生を行った供試体を 6 ヶ月間浸漬させた。その後、JIS A 1154 により全塩化物イオン量を測定し、見かけの拡散係数を算出した。

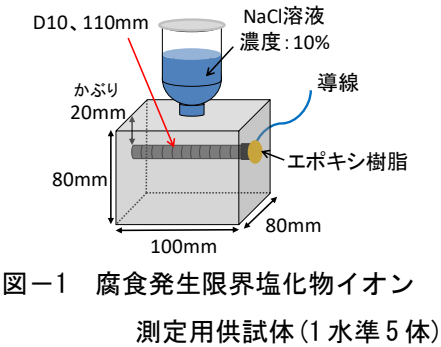


図-1 腐食発生限界塩化物イオン測定用供試体(1水準5体)

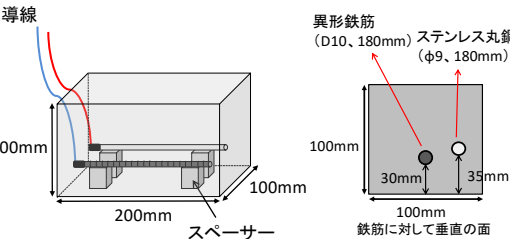


図-2 曝露用供試体(1水準3体)

キーワード：早強ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、分極抵抗、塩化物イオン

連絡先：〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8 丁目 19 番 1 号 福岡大学 TEL 092-871-6631

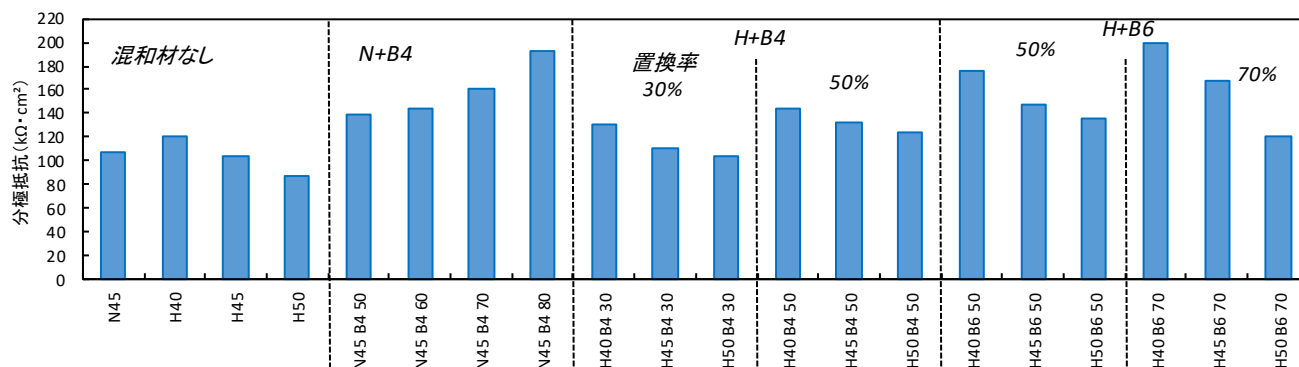


図-3 各配合ごとの分極抵抗

3. 結果および考察

図-3 には、図-1 で示した供試体の、各配合ごとの分極抵抗を示している。分極抵抗は、いずれの配合においても W/B の減少および置換率の増加に伴い、大きくなる傾向を示した。さらに、N45 と H45 を比べると、N45 の方が大きかった。また、スラグを同率に置換した N45 B4 50、H45 B4 50 および H45 B6 50 で比較すると、 $H45 B4 50 < N45 B4 50 < H45 B6 50$ となり、同ブレンでは普通セメントの方が、混和材なしの場合と同様に、腐食抵抗性は高くなる結果となった。

図-4 には、図-3 で示した分極抵抗と、見かけの拡散係数との関係を示している。いずれの配合においても、分極抵抗の上昇とともに、見かけの拡散係数は低下する傾向を示した。セメントの種類が異なる場合でも、分極抵抗と拡散係数の関係には、相関性が見られた。両者の観点から、塩害に対して耐久性があることが分かった。

表-2 には、図-1 で示した供試体において、腐食が確認された配合の一例を示している。見かけの拡散係数が低下していた N45 B4 60 や H50 B6 70 の配合では、pH が低くなっていた。また、H のみに比べ、鋼材位置の塩化物イオン量は低かったが、腐食が進行していたことが確認された。このように、分極抵抗が高く塩化物イオン浸透を抑制していた場合でも、腐食する可能性があることが示唆されたが、今後も継続して検討を行っていく必要がある。

図-5 には、塩化物イオンの浸透環境による分極抵抗の違いを示している。分極抵抗は、いずれの配合においても、飛沫帯よりも半浸漬試験の方が、大きくなる結果となった。また、図-3 と同様に、置換率の増加や、ブレンの違いにより、分極抵抗も大きくなる傾向となった。

4. まとめ

- (1) 塩化物イオン浸透抑制効果が高い配合では、分極抵抗も上昇していることが分かった。しかしながら、分極抵抗が高かった配合でも、腐食が進行している供試体を確認された。
- (2) 鋼材の腐食抵抗性は、浸透環境で違いが見られたが、いずれもスラグ置換率やブレン値が増加するにつれ、分極抵抗が大きくなる傾向となった。

謝辞 本研究の遂行にあたり、「鐵鋼スラグ協会」から研究助成を頂きました。ここに御礼申し上げます。

参考文献：1) 国立研究開発法人土木研究所，一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅱ），2016.1

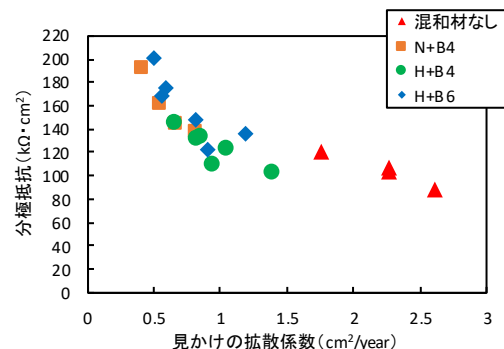


図-4 分極抵抗と見かけの拡散係数の関係

表-2 各配合の腐食状況

記号	かぶり (mm)	腐食供試体 (%)	腐食までの 日数(日)	鋼材位置の 全塩化物イオン量(kg/m³)	pH
N45	20	0	-	-	-
	30	0	-	-	-
	20	0	-	-	-
H40	20	0	-	-	-
	30	0	-	-	-
	20	0	-	-	-
H45	20	20	109	0.46	12.33
	30	40	72, 280	0.74, 5.15	12.38, 12.30
	20	0	-	-	-
H50	20	0	-	-	-
	30	0	-	-	-
	20	0	-	-	-
N45 B4 50	20	0	-	-	-
	30	0	-	-	-
	20	0	-	-	-
N45 B4 60	20	0	-	-	-
	30	20	154	0.37	11.93
	20	0	-	-	-
N45 B4 70	20	0	-	-	-
	30	0	-	-	-
	20	0	-	-	-
H50 B6 70	20	20	90	0.25	11.90
	30	0	-	-	-
	20	0	-	-	-

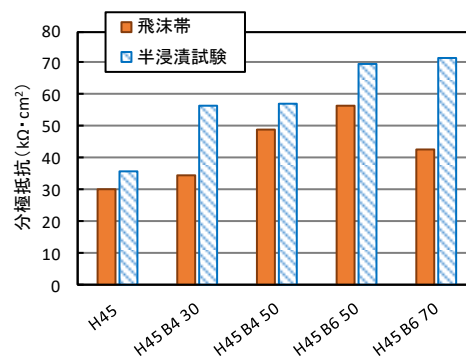


図-5 浸透環境による分極抵抗の違い