

早強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 学生会員 ○深見 桜 福岡大学 学生会員 中川 潤哉
福岡大学 正会員 樋原 弘貴 福岡大学 正会員 添田 政司

1. はじめに

塩害劣化環境における PC 床板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適用が進められている¹⁾。しかしながら、上記のコンクリートは、水結合材比やスラグの置換率、ブレン値の違いが塩化物イオン浸透に対する抵抗性については検討されているが²⁾、高置換した場合の十分な知見が得られていない。そこで本研究は、早強セメントにスラグを混和したコンクリートの塩害劣化抵抗性に対する知見を充実させることを目的とし、上記のコンクリートを作製し自然電位が-350mV よりも卑化した際、供試体を解体して、腐食発生限界塩化物イオンや鋼材腐食抵抗性を分極抵抗及び腐食発生時の腐食状況の評価を行った。

2. 実験概要

表-1には、コンクリートの配合表を示す。セメントは、普通セメント（略号：N）早強セメント（略号：H）を用いた。混和材には、高炉スラグ微粉末4000 ブレーン（略号：B4）、6000 ブレーン（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。配合表の名称は、（セメント種類）（W/B）（ブレン）（置換率）の順で記載した。スランブは10±2.0cm、空気量は4.5±1.5%とし、脱型後は28 日間の水中養生を行った。供試体は、木製型枠を用いて、図-1 に示している様に

表-1 コンクリート配合表

配合記号	W/B (%)	置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)									s/a
			W	B=N+H+B4+B6				S	G	AE減水剤	AE剤	
				N	H	B4	B6					
H40	40	—	164	—	410	—	—	722	1031	6.2	1.6	41.2
H40 B4 30		30	162	—	284	122	—	725	1037	6.2	1.5	41.1
H40 B4 50		50	163	—	204	204	—	723	1034	6.2	1.5	41.1
H40 B6 30		30	174	—	305	—	131	680	1012	7.5	1.8	41.0
H40 B6 50		50	165	—	207	—	207	702	1046	6.3	1.6	40.2
H40 B6 70		70	166	—	125	—	291	701	1043	6.5	1.6	40.2
H45		—	164	—	364	—	—	772	1017	5.5	1.3	43.2
H45 B4 30	45	30	163	—	253	109	—	774	1020	5.5	1.4	43.1
H45 B4 50		50	161	—	179	179	—	778	1025	5.4	1.4	43.2
H45 B6 30		30	172	—	267	—	115	739	1014	6.6	1.6	43.0
H45 B6 50		50	166	—	185	—	185	751	1030	5.8	1.4	42.2
H45 B6 70		70	163	—	109	—	253	757	1038	5.7	1.4	42.2
H50	50	—	164	—	328	—	—	803	1016	5.0	1.2	44.1
H50 B4 30		30	160	—	224	96	—	829	1007	4.9	1.2	45.2
H50 B4 50		50	158	—	158	158	—	815	1030	4.4	1.1	44.2
H50 B6 30		30	174	—	244	—	104	778	984	5.7	1.4	45.0
H50 B6 50		50	159	—	159	—	159	741	1103	4.1	1.0	40.2
H50 B6 70		70	157	—	94	—	220	744	1108	4.0	1.0	40.2
H55		—	168	—	305	—	—	854	958	4.8	1.1	48.0
H55 B6 30	55	30	171	—	218	—	93	839	960	5.0	1.2	47.5
H55 B6 50		50	172	—	157	—	157	829	967	4.5	1.2	47.0
H55 B6 70		70	173	—	95	—	221	809	983	5.0	1.3	46.0

100×80×80mm の大きさに作製した。かぶりは1, 2, 3cm とし、鉄筋は、あらかじめ銅線をブチルテープで巻きつけた異形鉄筋 D10×110mm を使用した。養生後は、図-1 に示す様に鉄筋の直上のコンクリート表面にプラスチック容器をエポキシ樹脂で取り付け、濃度 10%の NaCl 溶液を入れ、常時温度 20±2.0℃、湿度 60±5%の環境下で塩化物イオンの浸透実験を行った。浸透期間 6 ヶ月目にて分極抵抗の測定を行った。分極抵抗は、高周波 400Hz と低周波 0.1Hz で測定を行い、鉄筋の表面積を乗じて算出した。自然電位は、3 週間に 1 回の割合で測定を行い、-350mV よりも卑化した時点で腐食したと判断し、供試体の解体を行った。腐食したと判断された供試体は、解体直前に分極抵抗測定、塩水浸透位置において深さ 5mm ごとに試料を採取し、JIS A 1154 に準拠し全塩化物イオン量の測定および粉体試料 0.3g と蒸留水 30g を混合した溶液中の pH を測定した。鉄筋の腐食状況は、腐食面積率の測定により評価した。

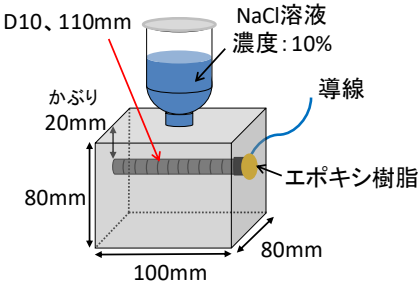


図-1 腐食発生限界塩化物イオン測定用供試体 (1 水準 5 体)

3. 結果および考察

一例として図-2 には、図-1 で示した供試体における W/B=45%の配合ごとの腐食前と腐食後の分極抵抗値の関係を示す。腐食前の分極抵抗値は、スラグの置換率の増加に伴い、大きくなる結果となった。腐食後の分極抵抗値

キーワード：高炉スラグ微粉末、分極抵抗、腐食面積率、塩化物イオン、pH

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

表-2 配合ごとの腐食状況

配合記号	かぶり (mm)	腐食供試体 (%)	腐食までの 日数(日)
N45	20	40	477, 588
	30	20	770
N45 B4 50	20	20	416
	30	-	-
N45 B4 60	20	20	154
	30	20	154
N45 B4 70	20	40	476, 756
	30	-	-
N45 B4 80	20	100	415, 477, 511, 770
	30	60	415, 477, 538
H40	20	-	-
	30	20	319
H40 B4 30	20	-	-
	30	-	-
H40 B4 50	20	-	-
	30	20	832
H40 B6 30	20	-	-
	30	-	-
H40 B6 50	20	10	412
	30	-	-
H40 B6 70	20	-	-
	30	-	-
H45	20	60	477, 854
	30	40	109, 857
H45 B4 30	20	20	536
	30	-	-
H45 B4 50	20	80	415, 511, 538, 770
	30	-	-
配合記号	かぶり (mm)	腐食供試体 (%)	腐食までの 日数(日)
H45 B6 30	20	-	-
	30	-	-
H45 B6 50	20	40	415, 538
	30	20	538
H45 B6 70	20	60	538
	30	60	415, 477
H50	20	100	73, 280, 353, 413
	30	80	477, 499, 854
H50 B4 30	20	40	509, 711
	30	-	-
H50 B4 50	20	60	477, 511, 538
	30	-	-
H50 B6 30	20	-	-
	30	-	-
H50 B6 50	20	80	415, 770, 832
	30	60	538, 770, 832
H50 B6 70	20	60	90, 415, 477
	30	80	477, 511
H55	10	100	60, 80, 102, 161
	20	80	185, 397, 459
H55 B6 30	10	60	102, 459, 759
	20	-	-
H55 B6 50	10	-	-
	20	20	459
H55 B6 70	10	100	60, 397, 459
	20	20	397

は、いずれの配合においても低下する結果となったが、解体前と同様に置換率の増加に伴い、分極抵抗値は増加する傾向であった。表-2は、現時点で腐食が確認された供試体を示す。分極抵抗は置換率が高いほど増加する結果であったが、スラグを30%置換した供試体は、置換率50、70%の供試体と比べ、腐食までの日数が遅く、腐食が発生したとされる供試体数は少ない結果となった。図-3は、腐食が確認された配合(W/B=45%)における腐食面積率と鉄筋位置の全塩化物イオン量の関係を示す。腐食面積率は、いずれも全塩化物イオン量が増加するに従い増加する傾向を示した。腐食面積率が同程度の場合、全塩化物イオン量は置換率70%が小さい結果となった。ブレーン値を比較すると、腐食面積率が同程度の場合、全塩化物イオン量はB6 50>B4 50の関係性となり、腐食に対する抵抗性は、6000ブレーンが高い結果となった。図-4には、解体を行った供試体のpHの測定結果を示す。置換率70%のpHは、置換率50%より低いことが、腐食に対する抵抗性を低下させたと考えられた。高置換することで分極抵抗は向上するが、置換率70%になると、少ない塩分量で腐食が発生することが分かった。今後も、継続して検討を進め、腐食発生限界塩化物イオン、腐食時の自然電位および分極抵抗を含めた情報を提供していきたいと考えている。

4. まとめ

- 1) 分極抵抗は置換率の増加に伴い上昇するが、置換率が高いほど腐食された供試体は多い結果となった。
- 2) 高炉スラグを用いることで分極抵抗は増加するが、pHの低下により、腐食発生限界塩化物イオンは低下することがわかった。

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(I)，2017.1
- 2) 深見桜，樋原弘貴ら：高炉スラグ微粉末を用いた低炭素型コンクリートの塩害劣化抵抗性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp161-166，2019.7

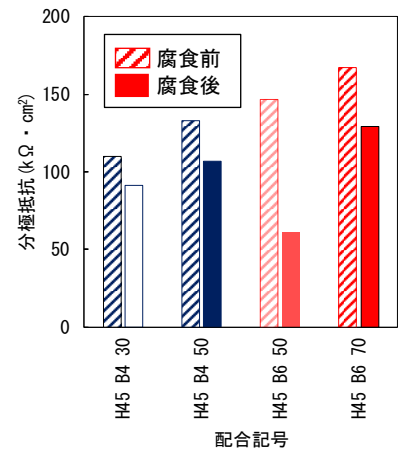


図-2 腐食前と腐食後の分極抵抗値の関係

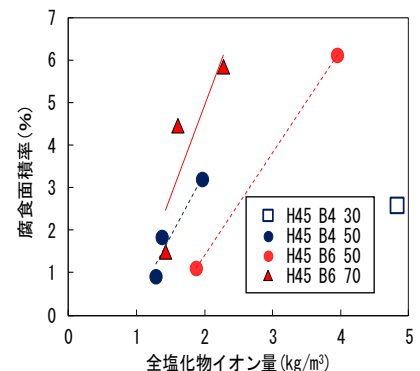


図-3 腐食面積率と全塩化物イオン量の関係

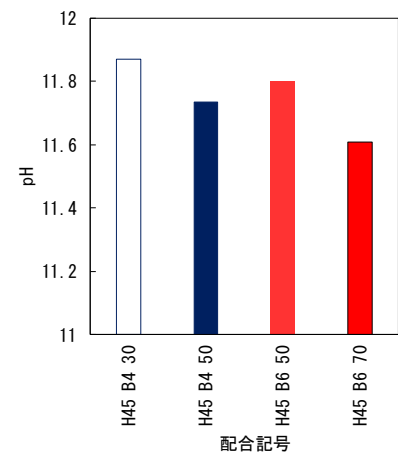


図-4 pHの測定結果