

暴露試験による高炉スラグ置換率の異なるコンクリートの中性化と鉄筋腐食

西松建設株式会社 正会員 ○高木 雄介 正会員 椎名 貴快
戸田建設株式会社 正会員 土師 康一 正会員 澤村 淳美

1. はじめに

近年、CO₂ 排出抑制の観点から高炉スラグが再び注目されているが、高置換配合(70%以上)での鉄筋腐食に係る暴露試験データは十分ではない。鉄筋腐食の要因として、中性化以外に、島国である我が国は飛来塩分による塩害が主に挙げられる。そこで内陸と海洋環境に5年暴露して得た中性化速度や鉄筋腐食面積のデータを報告する。

2. 試験概要

表-1 に使用材料および配合表を示す。高炉スラグ微粉末 4000 (以下 BFS, せっこう有) の置換率は、結合材 (以下 B) に対して質量比で 0%, 40%, 70%, 90% の 4 水準とした。

図-1 に暴露用供試体の概要を示す。暴露期間は 5 年で、3 年暴露供試体は暴露面から 10mm, 15mm の位置、5 年暴露供試体は 15mm, 30mm の位置に φ10mm の磨き丸鋼を設置し、試験面以外はエポキシ樹脂塗料で被覆を行った。また、塩分測定用の供試体は同条件の無筋の供試体で行い、圧縮試験用の円柱供試体 φ100×200mm も同条件で暴露を行った。

図-2 に供試体の暴露状況を示す。暴露場所は海洋が沖縄県大宜味村、内陸が茨城県つくば市で、特に海洋暴露は海水飛沫環境下に置き、どちらの暴露場も風雨に晒され、かつ直射日光の当たる場所とした。

3. 試験概要

表-2 に試験項目を示す。塩分測定は、暴露試験面から 20mm 深さまでは 5mm 厚、以降 10mm 厚でスライスして試料を採取し、全塩化物イオン量を測定した。腐食面積率は供試体から取り出した鉄筋の腐食箇所を透明な OHP フィルムに写し取り、スキャナーでパソコンに取り込んで画像処理ソフトを用いて腐食面積を求め、腐食面積率を算出した。

表-1 配合表

配合名	BFS/B (%)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	B		S	G
				N(H)	BFS		
N100B0	0	50	163	326	0	818	990
N60B40	40			196	131	814	985
N30B70	70			98	228	811	981
H10B90	90	35	165	47	424	813	835

※強度を統一するため、H10B90 の配合のみ早強セメントおよび W/B を 35% とした

表-2 試験項目

試験項目	暴露条件	
	海洋	内陸
圧縮強度	3y,5y	28d,1y,2y,3y,5y
中性化深さ	3y,5y	1y,2y,3y,5y
表層透気係数	3y,5y	3y,5y
塩分含有量測定	3y,5y	—
腐食面積	3y,5y	3y,5y

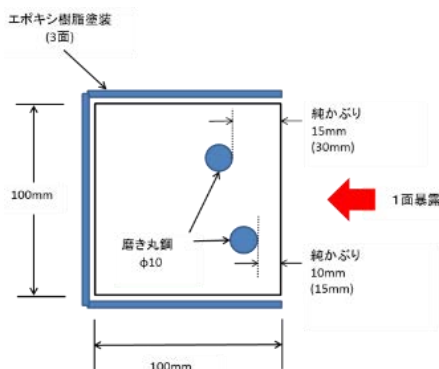


図-1 供試体概要



図-2 暴露環境写真

キーワード 高炉スラグ, 暴露試験, 鉄筋腐食, 塩分浸透, 中性化

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門二丁目2番1号住友不動産虎ノ門タワー21階 TEL. 03-3502-0247

4. 試験結果

図-3 に圧縮強度試験結果を示す。

BFS 置換率が高いほどを長期強度の発現が大きく、材齢 5 年の時点では 60N/mm² 前後に達し、BFS 置換率の違いによる差は小さかった。図-4 に中性化深さおよび中性化速度係数の比較図を示す。海洋と内陸に暴露した供試体の中性化速度係数は内陸側の方が

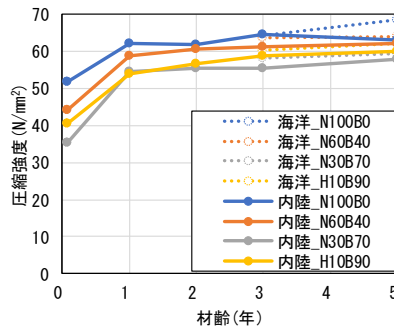


図-3 圧縮強度試験結果

大きい傾向にあった。これは環境条件による影響と考える。図-5 に海洋暴露した供試体の中性化深さおよび塩分測定試験結果を示す。供試体内の塩分が中性化深さ位置付近でピークを迎えており、中性化による塩分濃縮を確認した。また BFS 置換率が高いほど中性化の進行が早く、塩分がより深部まで拡散していることが分かる。なお、透気試験の結果、透気係数は海洋と内陸で大きな差はなく、置換率が高い配合ほど透気係数は小さい値であり、表層が緻密化している傾向が見られた。

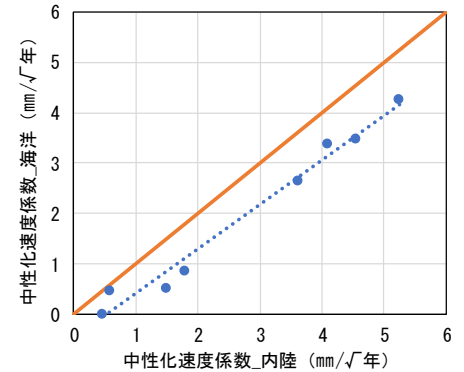
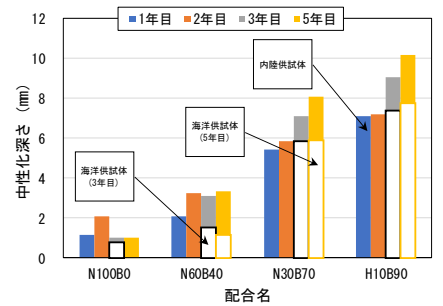


図-4 中性化深さ、中性化速度係数

次に、供試体内部に配置した鉄筋の腐食面積率を表-3 に示す。BFS 置換率が高い配合ほど、腐食面積率が大きい結果となった。ここで 3 年目の腐食面積率に着目すると、純かぶり 10mm の鉄筋では海洋と内陸の両方に腐食を確認でき、内陸は中性化深さが鉄筋位置に十分達していないことから、主に表面からの水分と酸素の供給による腐食ではないかと考えた。一方、海洋暴露の鉄筋位置での塩分量が 1kg/m³ を超えていることから、海洋では塩分による複合作用と考える。なお、腐食面積率の値は、(N30B70 を除いて) 内陸の方が海洋よりも大きいことから、3 年暴露では環境影響のほか、水分と酸素の供給による影響が腐食誘因として大きかったのではないかと推定した。5 年暴露した供試体では、3 年目と比較して中性化深さに大きな変化はないが、H10B90 配合のみ純かぶり 15mm の鉄筋で腐食が確認でき、他の供試体では腐食は確認できなかった。H10B90 配合で腐食がみられた原因として、水分浸透による内部への塩分拡散による影響ではないかと考えられる。

表-3 鉄筋腐食面積率

配合	純かぶり (mm)	腐食面積率 (%)			
		海洋		内陸	
		3年	5年	3年	5年
N100B0	10	0.0	—	0.0	—
	15	0.0	0.0	0.0	0.0
	30	—	0.0	—	0.0
N60B40	10	2.6	—	3.8	—
	15	0.0	0.0	0.0	0.0
	30	—	0.0	—	0.0
N30B70	10	5.5	—	4.1	—
	15	0.0	0.0	0.0	0.0
	30	—	0.0	—	0.0
H10B90	10	16.6	—	23.7	—
	15	0.0	3.9	0.0	0.0
	30	—	0.0	—	0.0

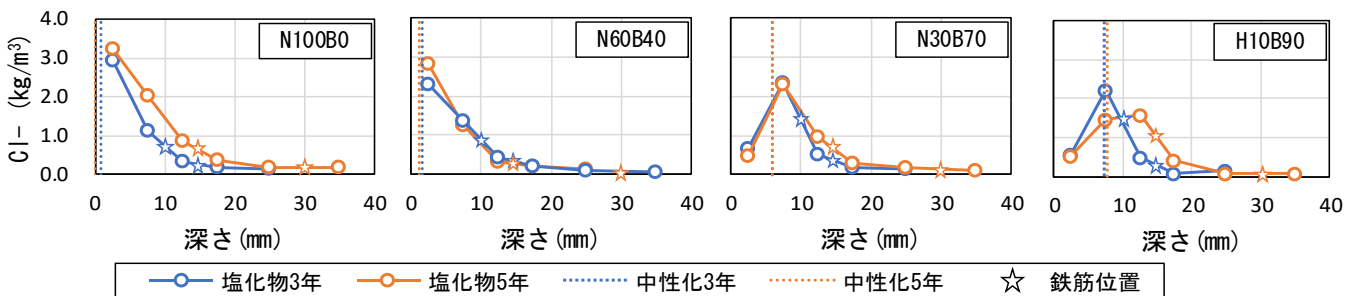


図-5 海洋暴露試験体での全塩化物イオン量測定結果

5. まとめ

本実験では、BFS 置換率が高いほど中性化の進行は速いが、内陸暴露で中性化が鉄筋位置まで達していないのに鉄筋が腐食していたことから、表面からの水分や酸素の供給による影響が大きかったと推定された。また海洋環境では塩分浸透・拡散によって、表面からより深部の鉄筋まで影響が及ぶ可能性があり、スラグ置換率が高いほど影響が顕著になる可能性が見られた。

謝辞 本研究の暴露試験では国立研究開発法人土木研究所のご協力を頂きました。ここに付記して感謝致します。