

塩害と凍害の複合劣化コンクリート中の溶融亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動に関する検討

徳島大学大学院 賛助会員 ○江田優大 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
 一般社団法人日本溶融亜鉛鍍金協会 非会員 茂木伸一
 デンカ(株) 正会員 七澤 章

1. はじめに

冬期に凍結防止剤が散布される鉄筋コンクリート構造物では、凍害と塩害の複合劣化作用を受けることがある。この場合においては、劣化の相互作用により劣化機構は極めて複雑となることが指摘されており、鉄筋の防食の手段として亜鉛めっき鉄筋が挙げられるが、このよう複合劣化作用を受ける環境における耐久性に関するデータは非常に少ない。そこで本研究

2. 実験概要

本実験で用いたコンクリートの配合を表 1 に示す。W/C は 55% とし、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートを N 配合とし、高炉セメント B 種を用いたコンクリートを B 配合、N 配合に対して初期混入塩分として Cl⁻ 量が 6.0 kg/m³ となるように細骨材代替で NaCl を混入したものを NC 配合とした。供試体は 100×100×300 mm の角柱コンクリートのかぶり 25 mm の位置に丸鋼 φ13 mm を 1 本配したものと

し、鉄筋には普通鉄筋と亜鉛めっき鉄筋の 2 種類をしようした。これらの供試体は、コンクリート打設翌日に脱型し、20℃の恒温室中で 56 日間の封緘養生を行い、養生終了後に暴露面 1 面を残して他の面にエポキシ樹脂を塗布した。その後、全ての供試体の暴露面に対して、NaCl 溶液の貯水供給を行うためにシーリング材を用いて高さ約 8 mm の土台を作製した(図 1 参照)。

劣化促進試験は、凍害と塩害、想定し凍結融解試験と乾湿繰返し試験を行った。凍結融解の試験方法は ASTM C 672 に準拠し、低温恒温試験槽による温度制御を行った。凍結過程は -18℃ で凍結時間 16 時間、融解過程は最高温度 23℃ で融解時間 8 時間とし、24 時間で 1 サイクルとなるように設定して計 28 サイクル行った。湿潤 4 日と乾燥 3 日の合計 7 日を 1 セットとし、これらを 4 セット繰返した。湿潤期間は、40℃、95%R.H. の湿空中で供試体をラミジップに入れ湿潤状態に保ち保管した。乾燥期間は、20℃、60%R.H. の室内で保管した。劣化促進期間にスケーリング量、相対動弾性係数、電気化学的腐食指標の測定を行い、試験終了後にコンクリート中の Cl⁻ 濃度、鉄筋の腐食面積率の測定を行った。

3. RC 供試体の累計スケーリング量

224 日間の複合劣化促進試験の中で、凍結融解試験期間 112 日間における RC 供試体の累計スケーリング量の経時変化を図 2 に示す。凡例は表 1 に示したコンクリート配合名の後に鉄筋種類の記号を付しており、普通鉄筋を使用した場合を N、亜鉛めっき鉄筋を使用した場合を Z とした。

B 配合のスケーリング量は、他の 2 つの配合より大きくなっており、中でも普通鉄筋を用いた BN 供試体のスケーリングが亜鉛

表 1 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			C	W	S	G	NaCl	WRA	AEA
N	55	48	324	178	826	895	0	1.1	0.03
B	55	48	324	178	821	889	0	1.0	0.03
NC	55	48	324	178	816	895	9.9	0.7	0.03

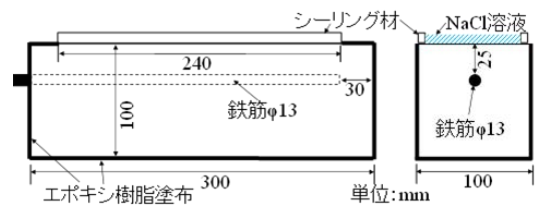


図 1 RC 供試体の概要

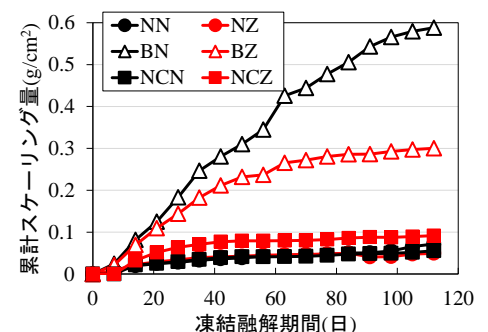


図 2 RC 供試体の累計スケーリング量

めっき鉄筋を用いた BZ 供試体の場合より大きくなっている。B 配合でスケーリングが進行した結果、 Cl^- のコンクリート内部への浸透が促進され、普通鉄筋の早期腐食開始によって発生した内部の微細なひび割れが、スケーリングの進行を加速させたものと考えられる。

4. RC 供試体の電気化学的指標

劣化促進試験を 224 日行った RC 供試体の電気化学的鉄筋腐食指標の経時変化を図 3 に示す。普通鉄筋を用いた N 配合、B 配合の自然電位は凍結融解開始直後に大きく卑変し、その後は ASTM C876 の判定基準における腐食領域に相当する -0.24V vs Ag/AgCl よりも卑な自然電位を推移している。これに対して NC 配合では、劣化促進試験開始前から ASTM 876-91 の腐食領域に相当する卑な値を示しており、試験開始前から鉄筋腐食が進行しているものと考えられる。

一方、亜鉛めっき鉄筋を用いた供試体の場合、全ての配合で試験開始前の自然電位の値が -0.6V 程度となっている。この値は、鉄より亜鉛標準電極電位が低い値であるためである。

分極抵抗は、NC 配合が N 配合と B 配合より小さくなっており、これは初期混入塩分が添加されているためだと考えられる。また、亜鉛めっき鉄筋を使用した NZ や BZ 供試体は、最初の凍結融解期間で分極抵抗が低下したものの、その後は経時的な分極抵抗値の増大傾向が見られる。これは、亜鉛めっき鉄筋表面における防食皮膜の形成が経時的に進行し、その後の反応・腐食速度の抑制に寄与しているものと推定される。

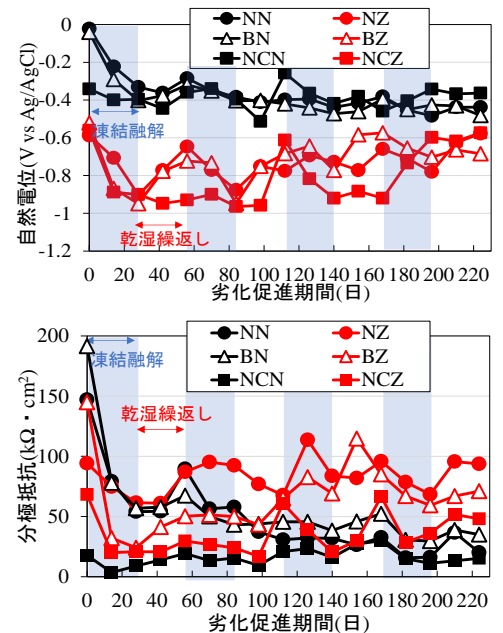


図 3 RC 供試体の電気化学的腐食指標

5. コンクリート中の Cl^- 濃度分布

224 日間の複合劣化促進試験終了後の RC 供試体のコンクリート中 Cl^- 濃度分布を図 4 に示す。

鉄筋種類によらず、B 配合コンクリート中の Cl^- 濃度は、N 配合コンクリートの場合より小さく、B 配合供試体のスケーリング量は N 配合供試体の場合より大きかったものの、 Cl^- の浸透は抑制されていることがわかる。また、鉄筋種類に関しては、N 配合供試体、B 配合供試体ともに、普通鉄筋を用いた場合の方が亜鉛めっき鉄筋を用いた場合より Cl^- の浸透は大きくなっており、 Cl^- の浸透に伴うコンクリート中の普通鉄筋の腐食は、亜鉛めっき鉄筋の場合よりコンクリートの内部劣化を促進し、 Cl^- の浸透量を増大させたものと考えられる。

6. コンクリート中铁筋の腐食面積率

促進複合劣化試験終了後の RC 供試体からはつり出した鉄筋の腐食面積率を図 5 に示す。なお、図中において、各供試体中铁筋の暴露面側半分とその裏側半分の腐食面積率を分けて示している。

普通鉄筋は図 4 に示した Cl^- 濃度分布に起因する赤さびが発生しており、暴露面側の方が大きな腐食面積率を示している。これに対して、亜鉛めっき鉄筋については、すべてのケースで赤さびは発生しておらず、本実験の促進複合劣化条件では、素地鉄筋の腐食発生には至っていないと言える。

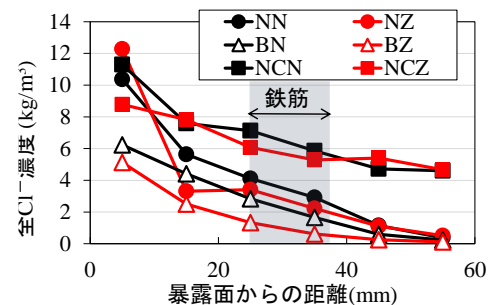


図 4 RC 供試体のコンクリート中における全 Cl^- 濃度分布

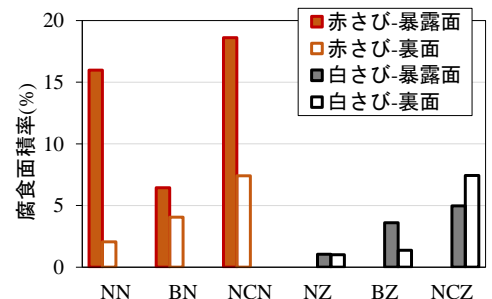


図 5 RC 供試体からはつり出した鉄筋の腐食面積率