

コンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の腐食が付着特性に与える影響

徳島大学大学院 学生会員 ○福本信吾
 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
 徳島大学大学院 正会員 塚越雅幸

1. はじめに

塩害環境下にあるコンクリート構造物の鉄筋防食対策のひとつとして亜鉛めっき鉄筋の利用に関する検討が進められてきた。しかし、コンクリートのような高アルカリ性環境下では、水素発生を伴う亜鉛めっき部分の反応が指摘されている。そこで本研究では、このような亜鉛めっき鉄筋のコンクリート中における反応が、鉄筋の防食性と付着特性に与える影響を明らかにすることを目的として実験的検討を行った。

2. 実験概要

本研究で用いたコンクリートの配合を表-1に示す。水結合材比(W/B)を55%とし、普通コンクリートを基準配合Nとする。これに対して高炉セメントB種を使用し、セメント代替20%でフライアッシュを混和した配合をBFとした。また、N、BFに対して初期混入Cl⁻量が8.0kg/m³となるようにNaClを混入したものをそれぞれNCl、BFCIとした。

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)							
			C	W	S	G	FA	NaCl	WRA*	AEA*
N	55	48	324	178	826	895	—	—	1.62	0.032
NCl			324	178	813	895	—	13.2	0.97	0.032
BF			259	178	813	881	65	—	1.04	0.039
BFCI			259	178	800	881	65	13.2	0.52	0.039

*WRA : AE 減水剤, AEA : AE 剤

本研究で作製したRC供試体は、鉄筋腐食モニタリングに用いるものとして、100×100×250mmの角柱コンクリート、引抜き試験に用いるものとして、100×100×100mmの角柱コンクリートを作製した。いずれのRC供試体についても異形鉄筋D13を正方形断面中央に配置した。なお、供試体に用いた異形鉄筋には、D13の普通鉄筋および、D13の普通鉄筋を熔融亜鉛浴中に浸漬してめっき厚100~150μmの金属亜鉛被膜を施した亜鉛めっき鉄筋を用いた。すべての供試体はコンクリート打込みの翌日に脱型後、20℃の恒温室中で封緘養生を行った。すべてのRC供試体は28日間の封緘養生終了後、鉄筋腐食促進環境(40℃, 95%R.H.)に保管し、鉄筋腐食モニタリングに用いる供試体については定期的に電気化学的鉄筋腐食モニタリングを行った。引抜き試験に用いる供試体については、鉄筋腐食促進17週間終了後に引抜き試験を実施し、鉄筋とコンクリートの付着強度を算出した。また、併せて作製したφ100×200mmのコンクリート円柱供試体は62日間封緘養生終了後に圧縮強度試験、φ50×100mmのモルタル円柱供試体は56日間封緘養生終了後に細孔溶液の高圧抽出を行った。なお、BFの鉄筋腐食モニタリング用供試体のみ他の配合から2カ月程度遅れて作製したため、他の配合よりデータの数が少ない。

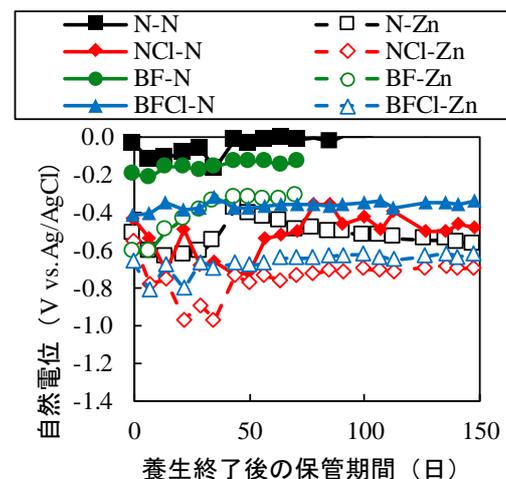


図-1 鉄筋腐食促進環境における鉄筋自然電位の経時変化

3. 鉄筋腐食促進環境での電気化学的鉄筋腐食評価

鉄筋腐食モニタリング用のRC供試体に関して、養生終了後に40℃鉄筋腐食促進環境保管し、定期的に測定

キーワード 亜鉛めっき鉄筋, 付着応力, 鉄筋腐食, 防食性能
 連絡先 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1 徳島大学大学院社会産業理工学部 TEL088-656-2153

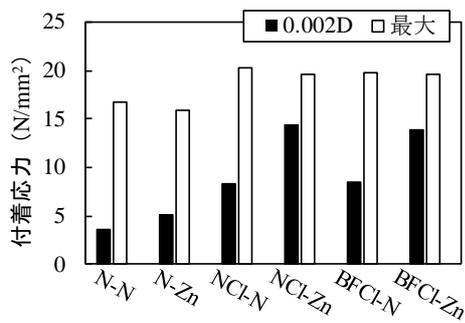


図-2 自由端変位 0.002D 時の付着応力 および最大付着応力

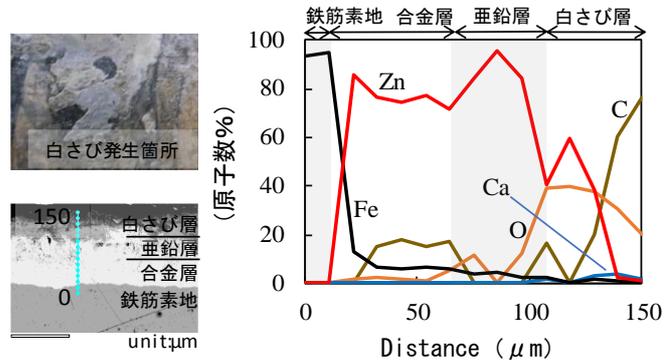


図-3 亜鉛めっき鉄筋白さび部分の 元素分析ラインプロファイル

した鉄筋自然電位の経時変化を図-1に示す。図に示した凡例は、コンクリート配合名の後にNかZnを付けたものとし、普通鉄筋の場合をN、亜鉛めっき鉄筋の場合をZnとした。すなわち、N-NはN配合で普通鉄筋を用いた供試体を示す。図-1によると、普通鉄筋供試体については、ASTM C876-91の腐食判定基準に照らして、NaCl混入配合では鉄筋腐食が進行し、NaCl無混入配合では鉄筋腐食はほとんど進行していないと考えられる。一方で、亜鉛めっき鉄筋供試体については、全体的に卑な電位を示しているが、特にNaClを混入した場合に-0.8V程度の卑な値をとっている。ただし、打込み直後に水素発生電位から貴変した際の電位を維持していることを考えると、亜鉛めっき鉄筋としての不動態は形成されている可能性がある。なお、NaCl無混入の場合には、比較的貴な電位となっており、特にBF-Znは、-0.4V程度の貴な電位を示していることから、他の配合よりも低pHであることで亜鉛部分が防食されている可能性がある。

4. 鉄筋とコンクリートとの付着

40℃鉄筋腐食促進環境に17週間保管したRC供試体(BF配合供試体を除く)について、引抜き試験を実施して得られた自由端変位0.002D時の付着応力および最大付着応力の測定平均値を図-2に示す。鉄筋のすべり始めの応力に相当する自由端変位0.002D時の付着応力、最大付着応力ともに、NaCl混入配合の場合に、N配合より大きな値を示している。鉄筋の腐食が付着に与える影響に関しては、腐食程度に依存し、腐食ひび割れが顕在化する程度の腐食であれば付着強度は低下するが、軽微な腐食であれば付着強度は上昇する場合がある。本研究の場合では、初期混入Cl⁻濃度は大きいものの、かぶりが比較的大きいこともあり、腐食ひび割れは見られず、付着が低下するほどの腐食には至らなかったものと考えられる。また、同配合で普通鉄筋と亜鉛めっき鉄筋を比較すると、最大付着応力は同程度であるが、自由端変位0.002D時の付着応力は亜鉛めっき鉄筋の方が大きくなっている。これより、亜鉛めっき鉄筋表面に生成した腐食生成物の方が、普通鉄筋表面に生じた腐食生成物よりも力学的特性が高く、付着力向上への寄与が大きかったものと推定される。

5. コンクリート中の亜鉛めっき鉄筋腐食状況

引抜き試験用RC供試体から取り出した亜鉛めっき鉄筋の白さび発生箇所について、SEM画像を用いて測定した元素分析ラインプロファイルを図-3に示す。飯島らはモルタル中で腐食させた亜鉛めっき鉄筋の腐食生成物を分析した結果、モルタルとの界面部分にカルシウムと亜鉛の複合水酸化物(Ca(OH)₂・2Zn(OH)₂・2H₂O)が生成していたことを報告している。図-3によると、元素分析によって、素地鉄筋と合金層の境界および合金層と純亜鉛層との境界がおおよそ推定できる。また、亜鉛めっき鉄筋とコンクリートとの界面付近には微量のCaが検出された。このことから、白さび発生箇所では、カルシウムと亜鉛の複合水酸化物(Ca(OH)₂・2Zn(OH)₂・2H₂O)が生成されている可能性があり、この生成物が亜鉛めっき鉄筋表面を覆うことによって亜鉛めっき部分の腐食は抑制され、素地鉄筋を防食していると考えられる。

参考文献

- 1) 飯島亨, 坂本誠也, 盛永康文: コンクリート中の溶融亜鉛めっき鉄筋の初期腐食挙動, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.16, 2016.10