

コンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の腐食と付着特性に関する検討

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。

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (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

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。モルタルの配合はコンクリートの配合から粗骨材と混和剤を除いたものを用いた。

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。また、細孔溶液抽出用に φ50×100mm のモルタル円柱供試体、圧縮強度試験用に φ100×200mm のコンクリート円柱供試体を併せて作製した。すべての供試体はコンクリート打設の翌日に脱型後、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。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、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 の供試体は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。

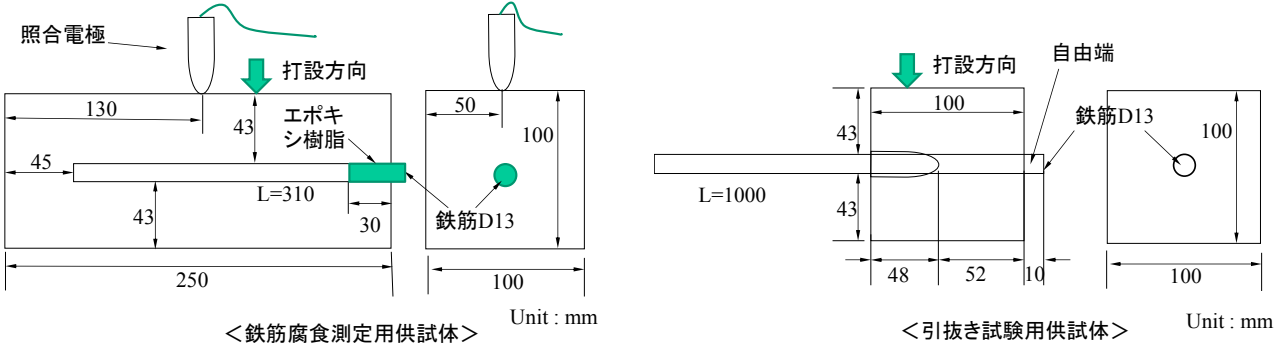


図-1 RC 供試体の概要

RC 供試体の概要を図-1 に示す。

3. 打設直後からの電気化学的鉄筋腐食評価

鉄筋腐食モニタリング用 RC 供試体に関して、打設直後からの亜鉛めっき鉄筋自然電位の経時変化を図-2 に示す。亜鉛の水素発生電位は -1.046 V (V vs. Ag/AgCl) であり、この値より卑な電位をとる時間帯では、亜鉛めっき部分が反応し、水素が発生していると考えられる。そこで、自然電位が -1.2 V 程度の卑な値を示している時間を水素発生推定時間と定義し、水素発生推定時間とモルタル細孔溶液中 OH^- 濃度の関係を図-3 に示す。図-3 によると、 OH^- 濃度が高いほど、水素発生推定時間が長くなっている。また、NaCl 添加配合は、打設直後に電位が卑変していることが水素発生推定時間の長くなる一因となっている。

鉄筋腐食促進期間中に測定した鉄筋自然電位の経時変化をそれぞれ図-4 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-4 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ていると考えられる。一方で、亜鉛めっき鉄筋供試体については、普通鉄筋より全体的に卑な電位を示している。ただし、打設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。また BF-Zn は、 -0.4 V 程度の貴な電位を示しており、他の配合よりも低 pH であることで亜鉛めっき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

自由端変位 0.002 D 時の付着応力および最大付着応力の測定値を図-5 に示す。鉄筋のすべり始めの応力に相当する自由端変位 0.002 D 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応力は低下するが、軽微な腐食であれば付着応力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ため、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、自由端変位が 0.002 D 時の付着応力は亜鉛めっき鉄筋の場合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。

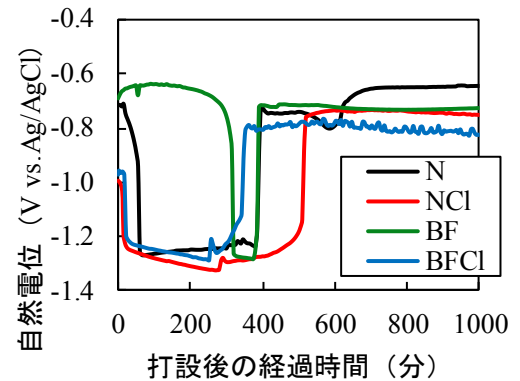


図-2 コンクリート打設直後からの供試体中亜鉛めっき鉄筋の自然電位経時変化

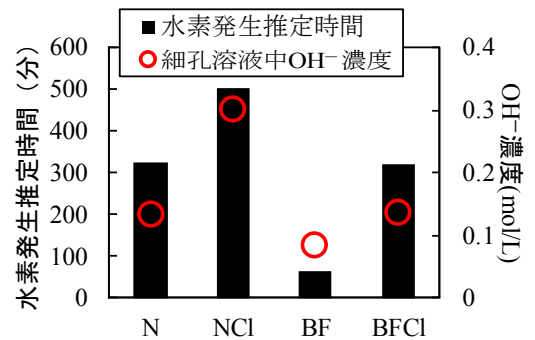


図-3 水素発生推定時間とモルタル細孔溶液中の OH^- 濃度

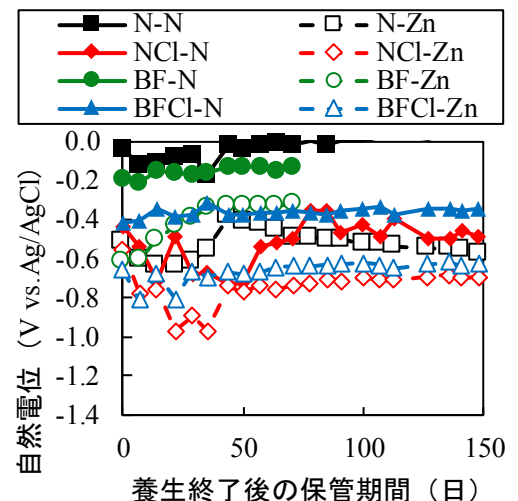


図-4 鉄筋腐食促進環境における鉄筋自然電位の経時変化

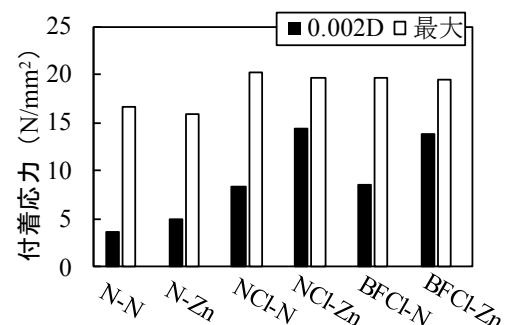


図-5 自由端変位 0.002 D 時の付着応力および最大付着応力