

打込み直後および中性化コンクリート中の亜鉛めっき鉄筋の腐食特性に関する検討

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 デンカ（株） 正会員 七澤 章

1. はじめに

塩害や中性化などの過酷な鉄筋腐食環境にある RC 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、コンクリート中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層の溶解反応進行が指摘されている。このようなコンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の溶解反応に伴う反応生成物の生成プロセスや物性の詳細については検討されておらず、亜鉛めっき鉄筋の防食性能とその持続性を評価するうえでこれらを解明する必要がある。さらに、亜鉛めっき鉄筋の反応が pH 依存性を有することを考慮すると、中性化によって劣化が進行するコンクリート中での亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動を明確にすることが必要となる。そこで本研究では、RC 供試体を用いてコンクリート打込み直後からの亜鉛めっき層の溶解反応によって生じる反応生成物の分析および中性化の進行するコンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動について実験的に検討した。

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	NaCl	WRA*	AEA*
N	60	48	300	180	833	902	—	1.62	0.032
NCl			300	180	824	902	6.6	0.97	0.032
BB			300	180	828	897	—	1.04	0.039
BBCI			300	180	820	897	6.6	0.52	0.039

*WRA：AE 減水剤，AEA：AE 剤

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 60% 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 種を使用した配合を BB とした。また、N、BB に対して初期混入 Cl⁻ 量が 4.0 kg/m³ となるように NaCl を混入したものをそれぞれ NCl、BBCI とした。

本研究で作製した促進中性化用 RC 供試体は、100×100×250 mm の角柱コンクリートの長軸方向に異形鉄筋 D13 をかぶりが 25 mm となるように配置した。異形鉄筋には、D13 普通鉄筋および、D13 普通鉄筋を溶融亜鉛浴中に浸漬してめっき厚 120～150 μm の金属亜鉛被膜を施した亜鉛めっき鉄筋を用いた。また、コンクリート打込み直後の亜鉛めっき層の反応解明を目的として、φ100×200 mm のコンクリート円柱供試体の円形断面中央に D13 亜鉛めっき鉄筋を 1 本配置した初期腐食用 RC 供試体を作製した。初期腐食用 RC 供試体は、コンクリート打設の翌日に解体し、内部の鉄筋を取り出した。促進中性化用 RC 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。14 日間の封緘養生終了後、40 日間気中保管し、供試体を乾燥させた。その後、暴露面 1 面以外にエポキシ樹脂を塗布し、促進中性化環境 (20℃, 60% R.H., CO₂ 濃度 : 5%) に保管した。この環境において、中性化深さの確認および電気化学的鉄筋腐食モニタリングを行った。促進中性化用 RC 供試体の概要を図-1 に示す。

3. コンクリート打込み直後のコンクリート中亜鉛めっき鉄筋の腐食状況

コンクリート打込み直後の亜鉛めっき鉄筋の断面 SEM 画像を打込み前と比較して表-2 に、各断面の元素

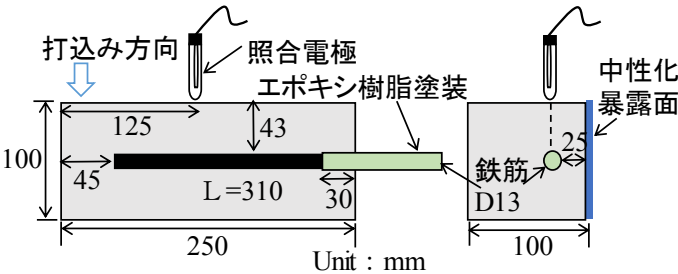


図-1 促進中性化用 RC 供試体の概要

分析ラインプロファイルを図-1に示す。亜鉛めっき層内の構成元素を示した図-1において、Feの含有量が5～11%の層を合金層、5%以下のものを純亜鉛層と定義すると、合金層の厚さは100 μm 程度であった。さらに表-2および図-1より、コンクリート打込み前後の亜鉛めっき層内部の変化は比較的小さいことから、コンクリート打込み直後に見られる変色は、亜鉛めっき層のごく表層で発生した反応に起因しており、亜鉛めっき層厚の減少はほとんど無いものと考えられる。

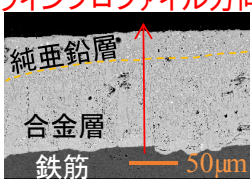
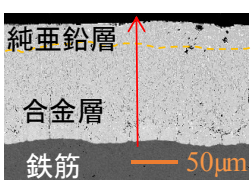
4. 打込み直後の鉄筋自然電位のモニタリング

促進中性化用 RC 供試体に関して、打込み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。これによると、NaCl 混入配合で測定中に自然電位が急速に低下し、 -1.2 V 程度の卑な値をとっている。しかし、数時間後には自然電位が -0.7 V 程度まで急速に上昇した後に定常状態となる傾向を示している。亜鉛の水素発生電位は -1.046 V (V vs. Ag/AgCl) であり、これより卑な電位をとる時間帯では、亜鉛めっき層の溶解反応が進行し、水素が発生していることが考えられる。本検討の場合には、NaCl 混入配合で Cl^- 濃度が高いこと、pH 値が高いことから、これらの配合で電位が低下したものと考えられる。

5. 促進中性化用 RC 供試体の鉄筋自然電位のモニタリング

促進中性化用 RC 供試体に関して、各環境保管中に定期的に測定した鉄筋自然電位の経時変化を図-3に示す。これによると、鉄筋種類によらず、すべての配合で養生期間および促進中性化前の乾燥期間を通じて全体的に貴変している。これは、養生期間中のセメントの水和反応進行による鉄筋不動態化とその後のコンクリート含水率低下によるものと考えられる。その後の促進中性化期間が50日程度経過する時点までは、概ねすべて供試体で自然電位の維持あるいは貴変が見られるが、その後に徐々に電位の卑変が見られる。普通鉄筋供試体については、NaCl 混入配合において、中性化に伴う Cl^- の濃縮が鉄筋腐食を促進し、自然電位を低下させたものと考えられる。一方で、亜鉛めっき鉄筋供試体については、普通鉄筋と比較して全体的に卑な電位を示しているが、普通鉄筋と亜鉛めっき鉄筋では鉄筋の腐食状態に対応する電位が異なるため、ASTM C876-91 の腐食判定基準で判断することはできない。ただし、促進中性化50日頃から BB Cl 、N Cl 、および BB 配合で大きな電位低下が見られる。これより、亜鉛めっき鉄筋の場合でもコンクリートの中性化状態や塩害と中性化の複合劣化状態において腐食が進行するものと考えられる。ここでの腐食反応は亜鉛めっき層において発生しているものと推定されるが、中性化や Cl^- による亜鉛めっき層の腐食進行の詳細については、今後コンクリート中の鉄筋腐食状況により確認していく予定である。

表-2 亜鉛めっき鉄筋の断面 SEM 画像

打込み前 (500 倍)	打込み後 1 日 (500 倍)
	

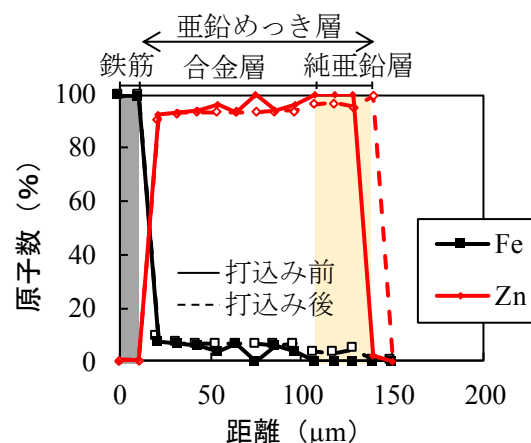


図-1 亜鉛めっき鉄筋断面の元素分析ラインプロファイル

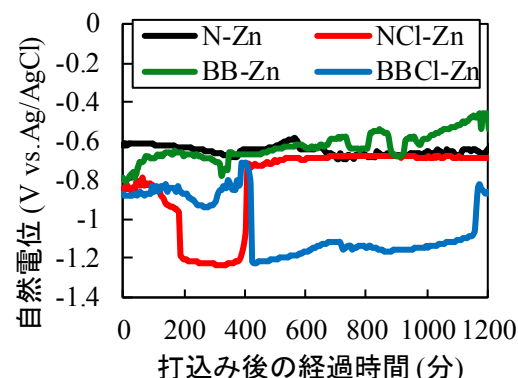


図-2 コンクリート打込み直後からの供試体中鉄筋自然電位経時変化

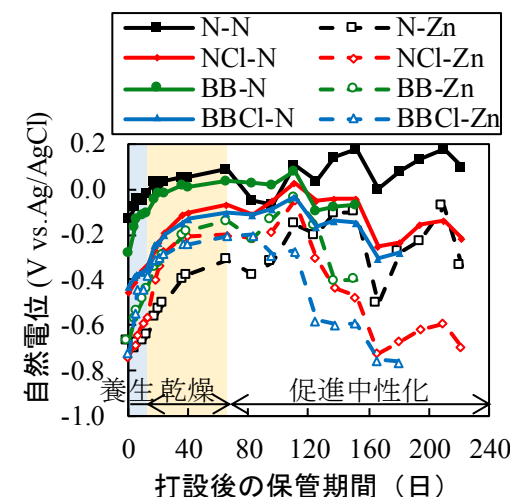


図-3 促進中性化用 RC 供試体の自然電位経時変化