

論文 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

福本 信吾^{*1}・上田 隆雄^{*2}・塚越 雅幸^{*3}・七澤 章^{*4}

要旨: 亜鉛めっき鉄筋は、コンクリート中のような高アルカリ性環境下において、水素発生を伴う亜鉛めっき層の反応進行が指摘されている。そこで本研究では、コンクリート打込み直後の亜鉛めっき層の反応状況を確認するとともに、普通鉄筋の腐食促進環境である中性化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検討を行った。この結果、亜鉛めっき層表面部分はコンクリート打込み直後から反応するものの、溶解するのはごく表層部のみであり、亜鉛めっき層厚はほとんど変化がないこと、塩害と中性化の複合劣化コンクリート中において亜鉛めっき鉄筋は普通鉄筋より腐食速度が抑制されることが確認された。

キーワード: 亜鉛めっき鉄筋, 鉄筋腐食, 防食性能, 中性化

1. はじめに

亜鉛めっき鉄筋は、塩害や中性化などの過酷な鉄筋腐食環境にある鉄筋コンクリート（以下、RC とする）構造物における鉄筋防食対策の一つとして海外では積極的な利用が進んでいるが、国内においても今後の利用拡大が期待されている。

一方で、両性金属である亜鉛は、コンクリート中のような高アルカリ性環境下において、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¹⁾。亜鉛めっき層の溶解反応の進行により、亜鉛めっき鉄筋のコンクリート打込み直後から数時間の腐食速度は、普通鉄筋よりもはるかに大きな値を示すとの指摘²⁾や、亜鉛めっき鉄筋の腐食速度は、pH 値が高くなるにつれて大きくなるとの報告³⁾もある。これより、コンクリート打込み直後におけるコンクリート中に埋設された亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動を詳細に検討することは、その後の鉄筋防食性能を評価するうえで重要である。

著者らは、コンクリート打込み直後からコンクリート中の鉄筋自然電位を経時的に測定することで、水素発生を伴う亜鉛めっき層の溶解反応を確認するとともに、その後のコンクリートと鉄筋との付着についても検討した⁴⁾。この結果、コンクリートの pH 値が高いほど、またコンクリート中の Cl⁻濃度が高い場合にコンクリート打込み直後における亜鉛めっき層の溶解反応の時間が長くなる傾向が認められたものの、コンクリート硬化後のコンクリートとの付着特性の低下は見られなかった。しかし、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、亜鉛めっき鉄筋または普通鉄筋を用いた RC 供試体を作製し、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を電気化学的モニタリングで確認し、溶解反応によって生じる反応生成物の分析を SEM 観察と元素分析により行った。また、塩分を含有する RC 供試体が塩害と中性化の複合劣化作用を受ける状況において、コンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動を電気化学的鉄筋腐食指標を測定することで実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 コンクリート配合および使用材料

本実験で用いたコンクリートの配合およびコンクリートのフレッシュ性状と材齢 28 日における圧縮強度測定値を表-1 に示す。水結合材比 (W/B) が 60%の普通コンクリートを基準配合 N とし、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となるように細骨材代替で NaCl をあらかじめ練混ぜ水に溶解する形で混入したものをそれぞれ NCl, BBCl 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。

セメントは普通ポルトランドセメント (密度: 3.16 g/cm³, 比表面積: 3460 cm²/g) および高炉セメント B 種 (密度: 3.04 g/cm³, 比表面積: 3710 cm²/g) を用い、細骨材は徳島県阿波市市場産砕砂 (密度: 2.57 g/cm³, 吸水率: 1.77%), 粗骨材は徳島県板野町大坂産砕石 (密度:

*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部知的力学システム工学専攻 建設創造システム工学コース (学生会員)

*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部社会基盤デザイン系教授 工博 (正会員)

*3 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部社会基盤デザイン系助教 工博 (正会員)

*4 デンカ(株) 青海工場 セメント・特混研究部 工博 (正会員)

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)							スランプ (cm)	空気量 (%)	材齢 28 日 圧縮強度 (N/mm ²)
			C	W	S	G	NaCl	WRA*	AEA*			
N	60	48	300	180	833	902	—	1.62	0.032	18.5	7.0	26.8
NCl			300	180	824	902	6.6	0.97	0.032	19.0	6.0	27.3
BB			300	180	828	897	—	1.04	0.039	15.0	5.8	24.4
BBCl			300	180	820	897	6.6	0.52	0.039	16.0	6.1	25.6

*WRA : AE 減水剤, AEA : AE 剤

2.57 g/cm³, 吸水率 : 1.62%) を用いた。

2.2 供試体の作製および養生

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 SD295A をかぶり高が 25 mm となるように 1 本配置した。鉄筋の一端はエポキシ樹脂で絶縁した上でコンクリートから露出させ、コンクリート内の鉄筋埋込み長さは 175 mm とした。鉄筋には、D13 の普通鉄筋または、D13 の普通鉄筋を熔融亜鉛浴中に浸漬して金属亜鉛被膜を施した亜鉛めっき鉄筋を用いた。この時の平均亜鉛めっき厚は 120~150 μm 程度であった。各配合のコンクリートで普通鉄筋を用いた供試体と亜鉛めっき鉄筋を用いたものを 2 体ずつ作製した。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 の亜鉛めっき鉄筋を 1 本配置した初期腐食用 RC 供試体を各配合 2 体ずつ作製した。さらに、中性化深さの確認およびコンクリート中 Cl⁻濃度分布測定用に一辺 100 mm のコンクリート立方体供試体、細孔溶液抽出用に φ50×100 mm のモルタル円柱供試体、圧縮強度試験用に φ100×200 mm のコンクリート円柱供試体を併せて作製した。促進中性化用 RC 供試体の概要を図-1 に示す。

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、内部鉄筋を取り出した。その他の供試体はコンクリート打設の翌日に脱型後、20℃恒温室中で封緘養生を行った。促進中性化用 RC 供試体および立方体供試体は、14 日間封緘養生終了後、気中で 40 日間保管し、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。この際、立方体供試体を用いて 2 週間間隔で中性化深さを確認した。促進中性化用 RC 供試体については、コンクリート打込み直後から鉄筋自然電位のモニタリングを行い、さらに養生終了後の促進中性化環境保管中に、定期的に電気化学的鉄筋腐食指標を測定した。なお、コンクリート円柱供試体は 28 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。

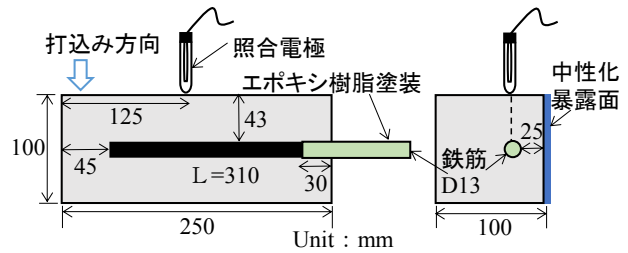


図-1 RC 供試体の概要

2.3 各種試験

促進中性化用 RC 供試体は、コンクリート打込み直後から、コンクリート表面に照合電極を接触させることによって鉄筋自然電位のモニタリングを行った。養生期間、乾燥期間および促進中性化期間中は、2 週間間隔で自然電位、分極抵抗、およびコンクリート抵抗を測定した。照合電極としては飽和銀塩化銀電極 (Ag/AgCl)、対極にはチタンメッシュを用いて供試体中の鉄筋全長の平均値として測定を行った。分極抵抗は矩形波電流分極法で印加電流 10 μA, 周波数 800 Hz と 0.1 Hz のインピーダンス値の差から求め、コンクリート抵抗は高周波数側 (800 Hz) のインピーダンス値として求めた。なお、乾燥期間および促進中性化期間中の測定は、暴露面に 3 時間湿布を巻き、表面を湿潤にした後に行った。

モルタル細孔溶液の高圧抽出は、56 日間の封緘養生が終了後、1200 kN を上限とする載荷と除荷を繰り返す高圧抽出法により 5 ml 以上の細孔溶液抽出を行った。さらに、抽出された細孔溶液に対して、Cl⁻濃度を硝酸銀による電位差滴定法により、OH⁻濃度を 0.01 mol/l 塩酸による直接滴定法により求めた。

3. モルタル細孔溶液中の各種イオン濃度

材齢 56 日で抽出したモルタル細孔溶液中の Cl⁻濃度、OH⁻濃度、および Cl⁻/OH⁻モル比を図-2 に示す。これによると、NaCl を初期混入した NCl および BBCl 配合の Cl⁻濃度は同程度となっている。BBCl 配合は、NCl 配合に比べて単位セメント量は小さいものの、高炉スラグの反応生成物が Cl⁻を固定し、減少したセメント量を補う

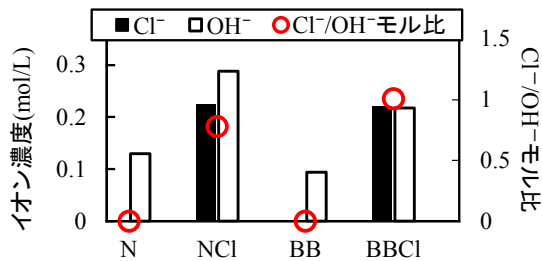


図-2 モルタル細孔溶液中の各種イオン濃度および Cl⁻/OH⁻モル比

表-2 細孔溶液中 OH⁻濃度から算出した pH 値

コンクリート配合名	N	NCI	BB	BBCI
pH 値	13.11	13.46	12.97	13.34

表-3 打込み前と打込み後 1 日の亜鉛めっき鉄筋外観

供試体名	鉄筋外観
打込み前	
NCI 打込み後 1 日経過	

だけの Cl⁻固定化能力を示したものと考えられる。一方で、細孔溶液中の OH⁻濃度については、NCI 配合が最も高く、BB 配合が最も低い値を示している。BB および BBCI 配合は、N および NCI 配合より単位セメント量が小さいため、水和反応による Ca(OH)₂生成量が減少するとともに、高炉スラグの反応によって Ca(OH)₂が消費されるため、細孔溶液中の OH⁻濃度は若干低下する。また、NaCl を混入した場合には、細孔溶液中の Na⁺濃度が上昇するために、電気的中立条件を保持するために OH⁻濃度が大きくなるものと考えられる。モルタル細孔溶液中の OH⁻濃度から算定した pH 値を表-2 に示す。飯島らは pH 値の異なるモルタル中で亜鉛めっき鉄筋の腐食速度を測定しており、亜鉛めっき鉄筋近傍の pH 値が 12.81 から 13.01 に増加すると腐食速度が顕著に増加することを報告している³⁾。これより、本検討の配合条件の違いによっても亜鉛めっき鉄筋の反応速度に大きな差が出る可能性がある。

Cl⁻/OH⁻モル比は、コンクリート中の鉄筋腐食環境を表す指標であり、一般にこの値が大きいほど厳しい鉄筋腐食環境であることを表している。図-2 より、BBCI 配合は NCI 配合よりも OH⁻濃度が低いため、Cl⁻/OH⁻モル比が大きくなっており、普通鉄筋に対しては厳しい腐食環境と言えるが、亜鉛めっき鉄筋の場合には、OH⁻濃度が低い方が亜鉛めっき層の溶解反応に対する抵抗性が高くなるため、普通鉄筋の場合と異なる判断基準が必要となるものと考えられる。特に、後述する中性化進

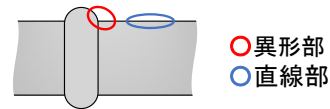


図-3 鉄筋異形部周辺の測定箇所

表-4 亜鉛めっき鉄筋の断面 SEM 画像

打込み前 異形部	
打込み前 直線部	
NCI 打込み後 1 日 直線部	

行状態で pH 低下の影響がより顕著に表れるため、実際の亜鉛めっき鉄筋の腐食状況の確認が必要である。

4. 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前および打込み翌日に NCI 配合の初期腐食用 RC 供試体からは取り出した亜鉛めっき鉄筋の外観を表-3 に示す。これより、コンクリート打込み前の亜鉛めっき層は銀色の強い光沢が見られるが、コンクリート中埋設後は、1 日経過しただけでも亜鉛めっき層の光沢は失われ、黒色に変色している部分が確認できる。このような状況は、NCI 配合供試体以外に、N 配合、BBCI 配合供試体の場合にも見られたが、BB 配合の場合には、このような変色はほとんど見られなかった。図-2 に示したモルタル細孔溶液中の OH⁻濃度は、NCI 配合が最も大きく、BB 配合が最も小さくなっている。材齢が異なるので単純比較は難しいが、このようなコンクリートの pH 値の違いが亜鉛めっき層の溶解反応に伴う変色状況に影響したものと推察される。ただし、膜厚計による亜鉛めっき層の膜厚測定を行った結果、黒色部でも 140 μm ほどと他の部分と比較して溶解反応による減厚は見られず、むしろ数 μm ほど大きくなっていた。

表-3 に示した亜鉛めっき鉄筋の断面 SEM 画像を表-4 に、各断面の元素分析ラインプロファイルを図-4 に示す。なお、SEM 観察の測定は図-3 に示す異形部と

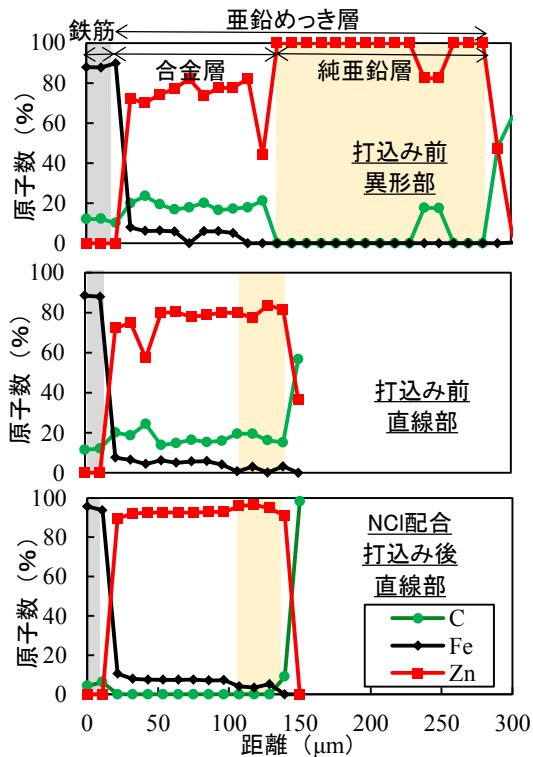


図-4 亜鉛めっき鉄筋断面の元素分析
ラインプロファイル

直線部についてそれぞれ行った。また、図-4 に示したラインプロファイルは表-4 の SEM 画像に示した赤い矢印に沿って測定しており、図中の C 成分は試料に含浸させたエポキシ樹脂を検出している。表-4 の SEM 画像を用いて亜鉛めっき層厚を計測した結果、直線部は 140 μm 程度であったのに対して、異形部周辺は 300 μm 程度とかなり大きくなっていて、このように異形鉄筋に熔融亜鉛めっき処理を行うと、突起部分に亜鉛が溜まりやすく、めっき厚が大きくなるものと考えられる。亜鉛めっき鉄筋の耐久性を評価するにあたっては、亜鉛めっき層厚の把握が重要となるが、鉄筋中において亜鉛めっき層厚には大きなばらつきが生じている場合があるため、注意が必要である。なお、SEM 画像より計測した亜鉛めっき層厚は、膜厚計で測定した亜鉛めっき層厚（平均 148 μm）にほぼ等しい値であったため、膜厚計を用いて簡易に亜鉛めっき層厚を測定することができるとわかった。

既往の研究⁵⁾によると、亜鉛めっき層内の鉄筋に近い位置に合金層（ δ_1 層、 ζ 層）、さらにその外側に純亜鉛層（ η 層）が形成される。亜鉛めっき層内の構成元素組成を示した図-4 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、亜鉛めっき層厚の大小にかかわらず合金層の厚さは 100 μm 程度であり、亜鉛めっき層厚が大きくなるとそれに応じて純亜鉛層厚が大きくなっている。なお、表-4

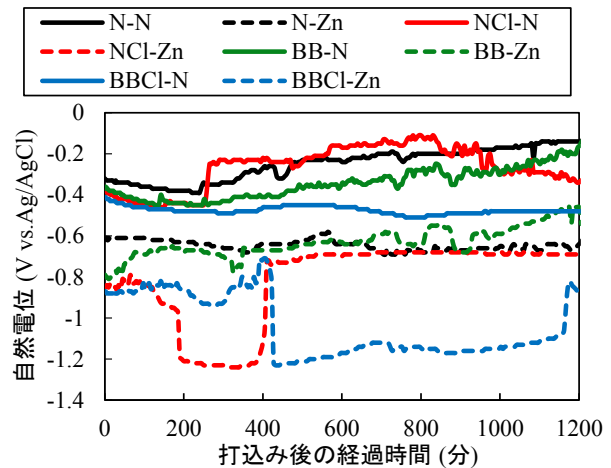


図-5 コンクリート打込み直後からの供試体中鉄筋の自然電位経時変化

の SEM 画像において、純亜鉛層と思われる部分はフラットで均一な外観となっているのに対して、合金層と思われる部分は、合金の結晶によると思われるまだら模様が見られる。さらに表-4 および図-4 より、亜鉛めっき層厚がほぼ一様であるとする、直線部において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、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。

5. 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、打込み直後からの鉄筋自然電位の経時変化を図-5 に示す。図に示した供試体名は、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。これによると、普通鉄筋を用いた供試体の場合、N、NCI および BB 配合では自然電位は ASTM C876-91 の非腐食から不確定領域の比較的貴な値を推移しているが、BBCI 配合供試体の場合には、ASTM C876-91⁶⁾の腐食領域に相当する卑な値を示している。著者らの既報⁴⁾では、厳しい塩害環境を想定して初期混入 Cl^- 濃度を 8.0 kg/m^3 としたため、普通鉄筋供試体はすべての配合でコンクリート打込み直後から腐食領域を推移したが、本検討では中性化との複合劣化を考慮して初期混入 Cl^- 濃度は 4.0 kg/m^3 としたため、図-2 において Cl^-/OH^- モル比が大きい BBCI 配合以外は比較的穏やかな腐食状態にあるものと考えられる。

一方で、亜鉛めっき鉄筋を用いた場合には、NaCl を混入した NCI 配合と BBCI 配合で測定中に自然電位が急速に低下し、自然電位が -1.2 V 程度の卑な値をとっている。その後、一定時間 -1.2 V 程度の自然電位を保ち、数時間

表-5 中性化進行状況（促進中性化 70 日時点）

配合名	N	NCl	BB	BBCI
中性化深さ (mm)	16.5	17.0	24.5	22.0
中性化速度係数 (mm/√day)	1.99	2.05	2.95	2.65

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、この値より卑な電位をとる時間帯では、亜鉛めっき層とコンクリート中のアルカリの反応で水素が発生していることが考えられる。本検討の場合には表-2 に示したように、NCl 配合と BBCI 配合の pH 値が他の配合よりも高いことから、これら 2 配合の電位が低下したものと考えられる。コンクリート打込み直後の亜鉛めっき鉄筋の電位変化に関する同様の傾向は著者らの既報⁴⁾でも確認されており、表-2 に示した亜鉛めっき鉄筋の光沢の変化や変色はこの反応によって生じているものと考えられる。

6. 促進中性化環境での各種測定

6.1 中性化深さとコンクリート中の Cl^- 濃度分布

促進中性化 70 日時点の各配合コンクリートの中性化深さと中性化深さから算出した中性化速度係数を表-5 に示す。これによると、普通セメントを用いた N および NCl 配合に比べて、高炉セメントを用いた BB および BBCI 配合のコンクリートは中性化速度係数が大きく、促進中性化 70 日時点で、RC 供試体のかぶり 25 mm がほぼ中性化した状態となっている。

この時点での BBCI 配合コンクリート中の Cl^- 濃度分布を図-6 に示す。これによると、コンクリート表層の中性化部で Cl^- 濃度が減少し、中性化部より内部において Cl^- の濃縮層が形成されている。これは、既往の検討⁷⁾で報告されているように、フリーデル氏塩が炭酸化することで固定化されていた Cl^- が遊離し、細孔溶液中を内部方向に拡散したためと考えられる。このため、図-6 に示されるように、中性化部分の温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度は 100% に近い値となり、 Cl^- はほとんど固定化されていないことがわかる。一方、未中性化部では、温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度は約 60% で一定となっている。促進中性化用 RC 供試体中の鉄筋はかぶり 25 mm で配置されているため、BBCI 配合については促進中性化 70 日付近で中性化に伴う Cl^- の濃縮層が鉄筋近傍に到達し、比較的厳しい鉄筋腐食環境が形成されているものと推定される。

6.2 促進中性化用 RC 供試体の電気化学的鉄筋腐食モニタリング

促進中性化用 RC 供試体に関して、打設後の養生期間、

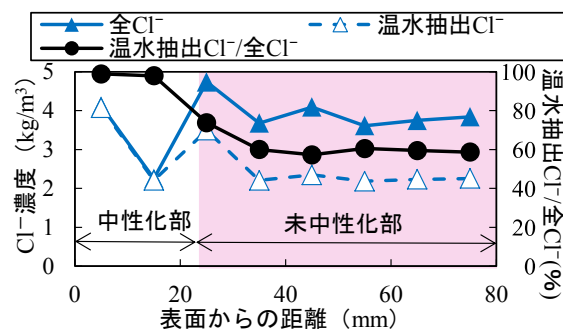
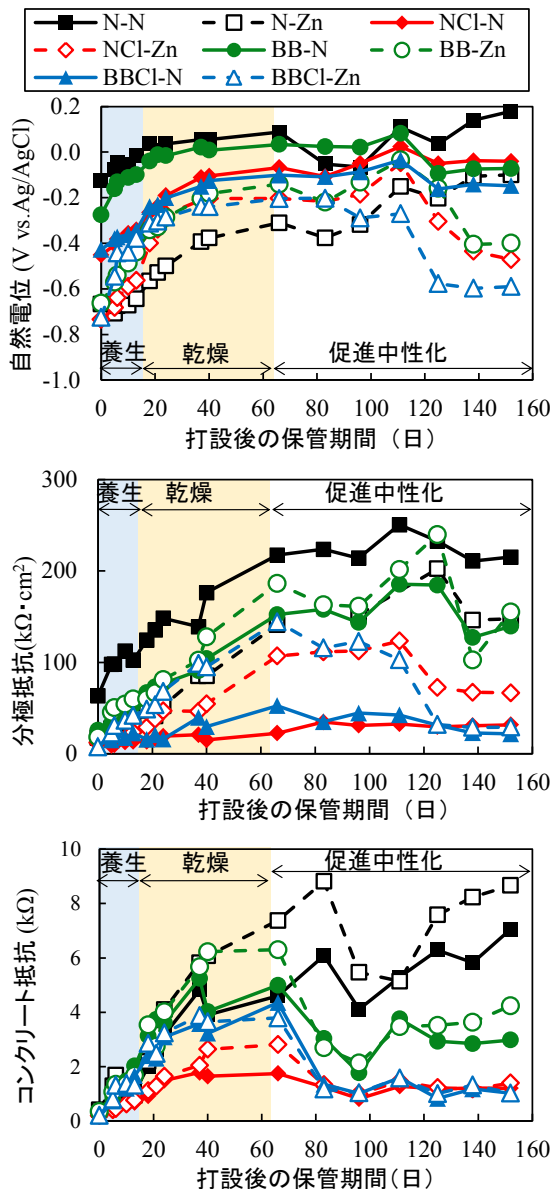


図-6 コンクリート中の Cl^- 濃度分布 (BBCI)

乾燥期間、およびその後の促進中性化環境保管中に定期的に測定した電気化学的鉄筋腐食指標の経時変化を図-7 に示す。図-7 (上図) より、鉄筋種類によらず、すべての配合で図-5 に示したコンクリート打込み直後に測定した自然電位の値から、養生期間および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すなわち、コンクリート打設後 110 日程度までは、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、ASTM C876-91 の腐食判定基準に照らして考えると、N 配合は非腐食領域であるが、NCl、BB および BBCI 配合は不確定あるいは腐食領域を推移しており、特に中性化速度の速い BB と BBCI 配合の電位低下が大きい。BBCI 配合については、促進中性化 70 日で図-6 に示したような Cl^- 濃度分布であったことを考えると、中性化に伴って濃縮された Cl^- 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、同様の傾向は著者らの既報⁴⁾でも確認されており、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 C876-91⁶⁾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 BBCI、NCl、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。

図-7 (中図) によると、NaCl 無混入の場合の分極抵抗値は、鉄筋種類によらず全体的に大きく、特に BB 配



図一七 促進中性化用 RC 供試体の電気化学的鉄筋腐食指標の経時変化

合では普通鉄筋より亜鉛めっき鉄筋の方が大きな分極抵抗値を示している。さらに、NaCl 混入の場合には、普通鉄筋供試体の分極抵抗値が保管期間を通して小さいのに対して、亜鉛めっき鉄筋供試体の分極抵抗値は促進中性化 50 日程度までかなり大きな値を維持している。これより、本検討における中性化あるいは塩害と中性化の複合劣化状態に対して、亜鉛めっき鉄筋は普通鉄筋よりも腐食速度を抑制していると言える。ただし、中性化の進行に伴って自然電位が低下した際に分極抵抗も大きく低下していることから、亜鉛めっき鉄筋を用いた場合でもコンクリートの中性化に伴って pH 値が低下し、 Cl^-/OH^- モル比が限界値を超えると、亜鉛めっき層の腐食速度が増大するものと考えられる。

図一七（下図）によると、各配合供試体のコンクリー

ト抵抗値は促進中性化開始後に低下しているが、特に BB 配合および BBCI 配合の低下が大きい。原沢らは、高炉セメントを用いたコンクリートは、中性化によって細孔構造が粗大化することを指摘⁸⁾しており、本検討でもそのような細孔構造の変化がコンクリート中の鉄筋腐食促進の一因となった可能性もある。

7. まとめ

本研究結果をまとめると次のようになる。

- (1) 亜鉛めっき層表面部分はコンクリート打込み直後から反応するものの、溶解するのはごく表層部のみであり、亜鉛めっき層厚の変化はほとんどなかった。
- (2) NaCl を初期添加したコンクリート中に埋設した亜鉛めっき鉄筋の自然電位はコンクリート打込み直後に水素発生電位付近まで大きく卑変し、その後 -0.7 V vs. Ag/AgCl 程度まで大きく貴変した。
- (3) 亜鉛めっき鉄筋を用いた供試体の自然電位はコンクリートの中性化進行に伴って普通鉄筋と同様に卑変したが、分極抵抗から推定される鉄筋腐食速度は普通鉄筋の場合より抑制された。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、日本溶融亜鉛鍍金協会から亜鉛めっき鉄筋のご提供をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 竹下麗華, 武若耕司, 山口明伸, 審良善和：高アルカリ性環境下における亜鉛めっき鉄筋の防食性能, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 967-972, 2017.7
- 2) 李修陽, 多田英司, 西方篤：コンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の初期腐食挙動, 第 62 回材料と環境討論会, pp.251-252, 2015.9
- 3) 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, pp. 141-146, 2016.10
- 4) 福本信吾, 上田隆雄, 塚越雅幸：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, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 1, pp. 939-944, 2018.7
- 5) 柴山裕：溶融亜鉛めっきの技術と装置, 表面技術, Vol. 68, No. 11, pp. 24-29, 2017.11
- 6) ASTM C876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- 7) 小林一輔：コンクリートの炭酸化に関する研究, 土木学会論文集 No.433/V-15, pp. 1-14, 1991.8
- 8) 原沢蓉子, 本多和博, 伊代田岳史：異なる炭酸化環境が空隙特性及び炭酸化生成物に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 1, pp. 808-813, 2014.7