コンクリート表面に金属溶射被膜を行った内部鋼材の防食効果

02A3726　高田　侑典
02A3734　中原　和之
指導教員　高山　俊一

１．まえがき

鉄筋コンクリート構造物の塩害による鉄筋腐食は、鉄筋コンクリート構造物の早期劣化の原因となっている。他方、鉄鋼構造物の防食方法の一つとして溶射技術が考えられる。この方法は溶射皮膜を犠牲にすることによって長期防食するものである。本研究では、鉄筋の防食効果を示す Zn-Mg に着目して、鉄筋コンクリート表面への金属溶射による基本的な防食特性を検討した。Al,Zn,Al-Mg および Zn-Mg の 4 種類の溶射膜を用いて鉄筋の電位差の変化および腐食速度などを調べた。

表－1　実験要項

材料	Zn-Mg				Al-Mg				Zn	Al	塗装		計
膜厚／μm	100			200	100			200	100	100			
封孔	有		無	無	有		無	無	無	無	無	有	
クロスカット	無	有	無	無	無	有	無	無					
中性化試験	3	3		3	3	3		3			3	3	24
復極量測定	3				3								6
腐食速度測定	3		6		3		6		6	6			30
圧縮強度試験											2		2
計	9	3	6	3	9	3	6	3	6	6	5	3	62

２．試験概要

２．１実験方法

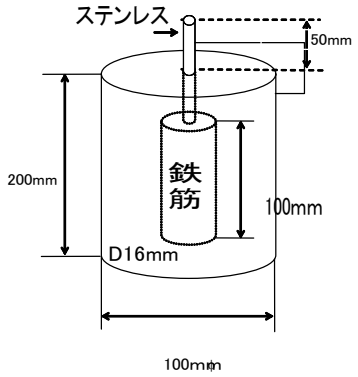
表－１に実験概要を示す。主な試験は、中性化促進試験、復極量の測定および腐食速度の測定である。表－２にコンクリート配合を示す。コンクリートは最も一般的である水セメント比 55%とした。鉄筋が発錆しやすいようにコンクリート中に塩化ナトリウムを混合した。コンクリート中の塩分量は細骨材（質量）対して 0.5%とした。試験に用いたコンクリート供試体は全てφ10×20 ㎝である。細骨材は海砂を使用し、目標スランプは 10cm とした。AE 減水剤は主成分がリグニンスルフォン酸のものを使用し、目標空気量は 4%とした。図－１に示すように、供試体の中に D16 ㎜鉄筋を 100 ㎜埋め込み、約φ2.2×80 ㎜のステンレスを溶接し、供試体の上面から約 50 ㎜出し電位差測定(復極量)および腐食速度測定の供試体とした。溶射した供試体と比較するために、エポキシ樹脂塗装した供試体をも作製した。

表-2　コンクリートの配合とスランプ

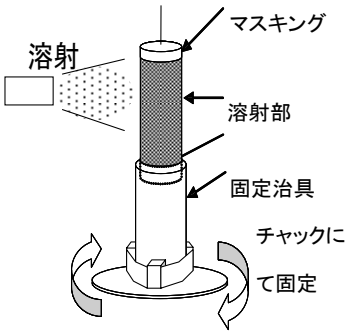
水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	塩分量 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m³)					NaCl (kg)	スランプ (cm)
				W	C	S	G	AE減水剤		
55	46	0.5	4	155	282	845	1027	0.902	4.25	17

２．２溶射方法

コンクリート打設後 2 週間水中養生を行い、その後フレーム溶射とペンキ塗装を行った。図－2 に溶射方法を示す。フレーム溶射でアセチレン 1.03kg/cm²、酸素 2.41psi、溶射距離 250mm、溶射角度

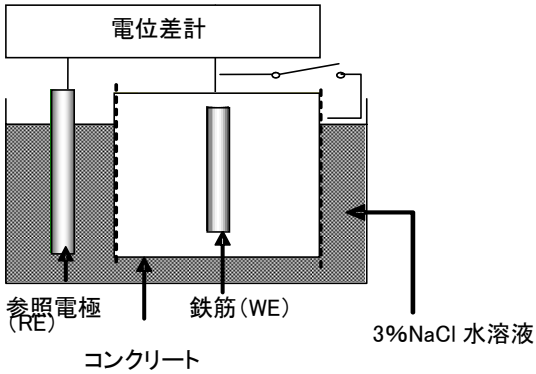


図—1　D16 ㎜をコンクリート中に埋め込んだ状況



図－2　溶射の方法

90°、目標膜厚 100～200μで行った。溶射金属は表－1のように Al および Zn を中心に 4 種類である。図―2 に示すように噴射口から約 250 ㎜離し、円柱供試体を回転させ溶射厚さが一様になるように溶射を行った。溶射によってコンクリート表面が熱くならない事および一様の厚さの溶射が可能なことを確認後、この 250 ㎜に決定した。溶射範囲は、供試体の上下側面 25 ㎜を除き、中央箇所の 150 ㎜である。ペンキ塗装は、エポキシ樹脂を使用し、プライマー（下地塗り）、中塗りさらに上塗りがされている。いずれも刷毛塗りである。無処理とは供試体に何も手を加えてないものである。



図―3　電位計(復極量)の測定状況

２．３試験方法

実験項目は、圧縮強度、弾性係数、電位差測定試験および中性化試験である。圧縮強度試験は、電位差測定時(材齢 175 日)に行った。電位差測定試験は、図－3 の方法にて行った。復極量は通電停止直後の鉄筋電位と停止 4 時間後鉄筋電位の差を測定して求める。この場合、100mV 以上であれば防食効果ありと考える。供試体は塩分濃度 3%の模擬海水中に供試体の下から 150 ㎜の位置まで入れ、電位差の測定を行った。中性化促進試験は、約 1 ㎥の試験槽（温度 40℃、湿度 60%）の二酸化炭素の高濃度($CO_2$7%)中に所定の期日まで養生して行った。この CO_2 が 7%の雰囲気は、1 日で通常の気中 160 日に相当する。試験材齢は 1、2 および 4 ヶ月とした。その後、コンクリートを切断し、フェノールフタレイン 1 %アルコール水溶液を吹きかけ中性化部分を 40 点測定した。写真-1 にフェノールフタレイン散布後の状況を示す。腐食速度測定は写真-2 の方法で行った。腐食速度は供試体に自然電位の±100mV で微小電流を加えていき、外部電位と通電時における金属電極の電位(分極電位)との関係から腐食電流を推定する。腐食電流密度が小さい方が腐食抑制効果が高いと考える。

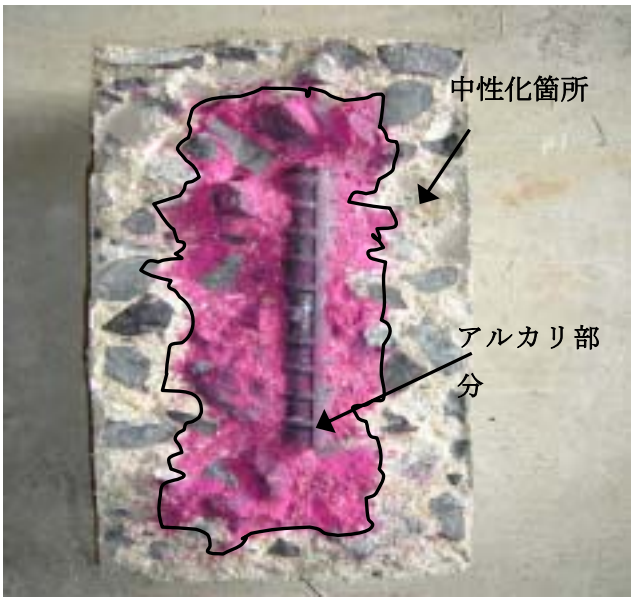
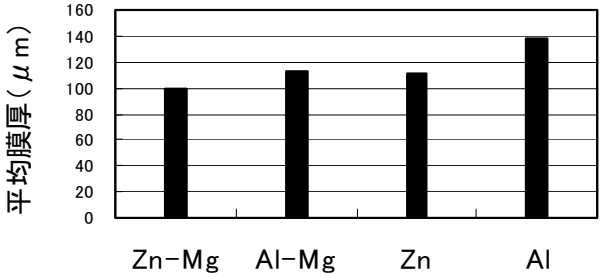
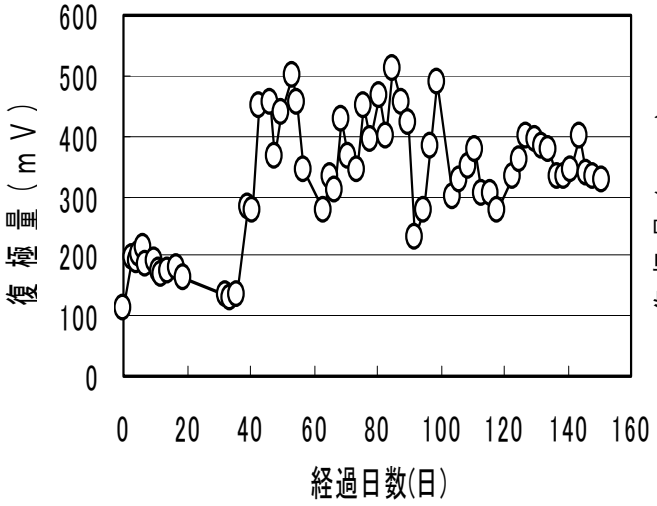


写真-1　中性化状況(材齢 4 ヶ月)

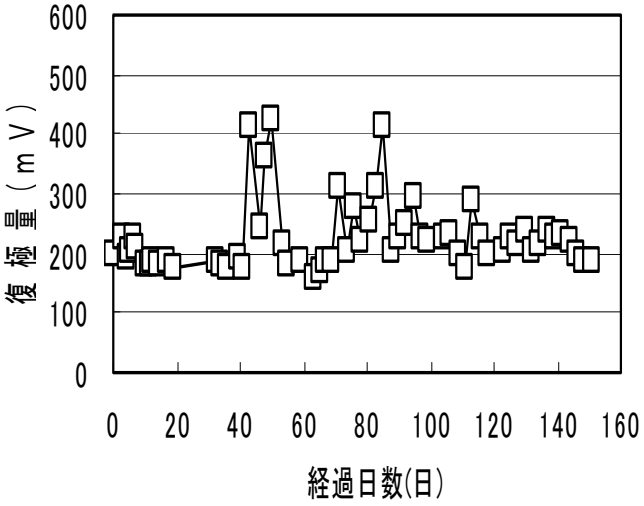
写真-2　腐食速度の測定状況



図－4　溶射後の平均膜厚



図ー5 Al-Mg溶射の復極量の変化



図ー6 Zn-Mg溶射の復極量の変化

３．結果および考察

３．１溶射の平均皮膜と復極量

図－4 は、100μm を目標とした溶射を行った平均膜厚を示す。いずれの溶射の場合も目標としていた100μmを越えている。復極量の変化を図－5（Al-Mg）および図－6（Zn-Mg）に示す。図-5 の Al-Mg 溶射の場合、経過日数 40 日以降、復極量が著しく増加し、300～500mＶの間を上下している。さらに約 110 日以後は 300mＶ～400mＶで変化している。図-6 の Zn-Mg 溶射の場合は、図-5 の場合と異なり、約 200mＶの近傍を推移し、比較的安定した復極量を示している。しかしながら 40～50 日および約 82 日などで約 400mＶの高い復極量を示した。Al-Mg 溶射および Zn-Mg 溶射のいずれかの復極量とも開始直後から 100mＶを越えており、両溶射とも防食効果に優れているものと考える。

３．２溶射と中性化深さ

中性化深さの測定結果を図－7 に示す。ペンキ塗装を除く供試体は、試験材齢が大きくなると中性化の深さが次第に大きくなっている。無処理のものより Al-Mg および Zn-Mg の各溶射の中性化の深さが大きくなっていることが分かる。金属溶射は中性化の防止には適していないものと考え

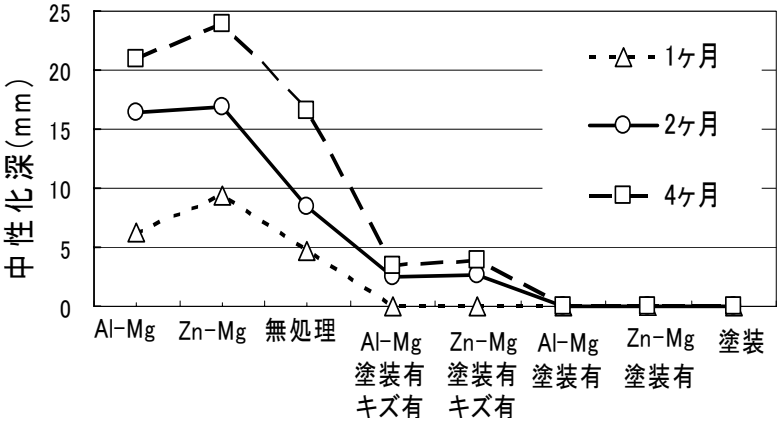


図-7 中性化試験

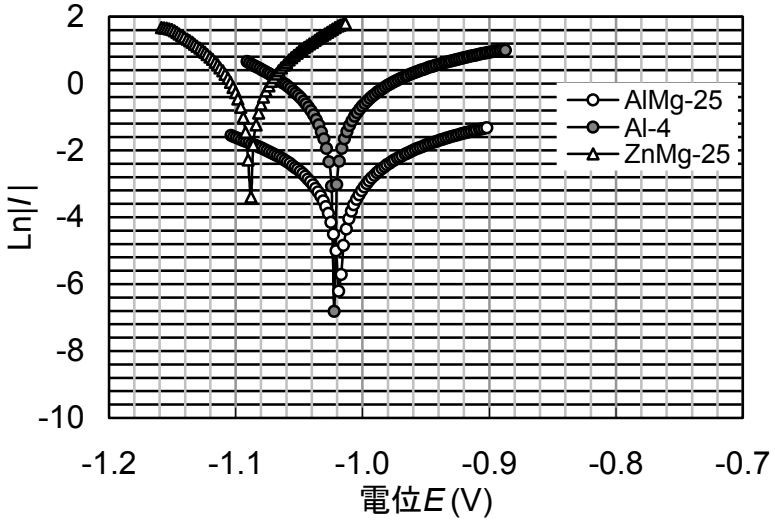
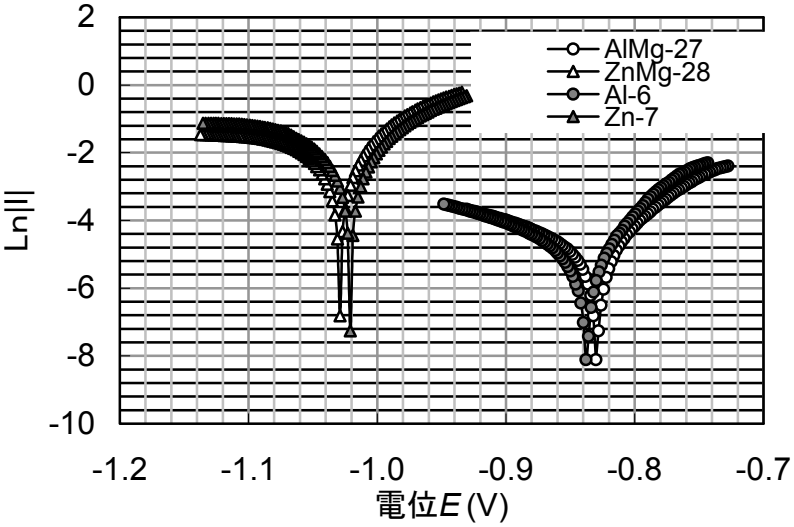


図-8 腐食速度（試験材齢1週）

る。ただし、溶射後さらに塗装を行い、×印のキズ有の場合の中性化深さは、4ヶ月後でも約 4 ㎜と塗装の効果が十分に認められる。しかしながらキズ無しの場合には中性化 4 ヶ月後でもまったく認められなかった。中性化促進試験結果から判断すると、コンクリートに進入する塩分の遮断は不可能と考えられる。従って、塩分浸入の防止は塗装によって行うことが最良であると考える。材齢 4 ヶ月において、内部鉄筋の錆は認められなかった。



図−9 腐食速度(材齢1ヶ月)

３．３腐食速度

内部鉄筋の腐食速度の測定結果を図-8(1 週間)、図-9(1 ヶ月)および図-10(3 ヶ月)にそれぞれ示す。図-8 より、Al-Mg 溶射の場合は、Al 溶射と比較して腐食電流密度が小さく、腐食抑制効果が示されている。図-9 より、Zn 系ならびに Al 系の両溶射ともに、Mg の添加の有無にかかわらず、同程度の腐食電流密度であることから Mg の効果がほとんど無いことがいえる。図-10 より、腐食電位の相違はあるものの腐食電流密度は各金属系で同程度である。すべての結果において、Al 系よりも Zn 系の方が腐食電流密度が大きい。

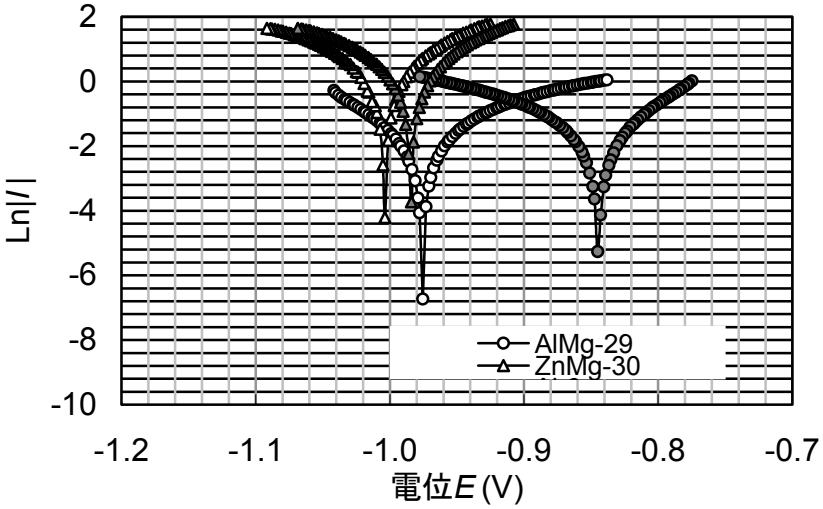


図-10 腐食速度(3ヶ月)

３．４強度試験

表−3 に圧縮強度の結果を示している。コンクリートの圧縮強度は 35.8N/mm² を有し、かなり強度の大きいものと考える。

表−３ 圧縮強度試験

圧縮強度 N/mm^2	弾性係数 N/mm^2 (×10^4)	単位質量 g/cm^3
35.8	3.83	2.46

４．まとめ

本研究で得られた成果をまとめると次のとおりである。

(1)Al-Mg 溶射と Zn-Mg 溶射の復極量は 200mV 以上を示し、鉄筋の防食効果が有るものと考える。しかしながら、Al-Mg 溶射の復極量は若干ばらつきが認められる様である。

(2)中性化試験において、金属溶射膜は二酸化炭素の浸透を防止できないものと考える。したがって、溶射膜の上に塗装を行うことにより、錆の進行を停止と塩分の追加の浸入防止が可能と考えられる。

終わりに、中性化試験に御協力戴いた新日鐵高炉セメント（株）に謝意を表します。