

金属系防食被膜の耐食性に関する基礎的研究

| | | |
|------------|------|---------|
| 東海大学大学院 | 学生会員 | ○高橋 奈津子 |
| 前田建設工業株式会社 | 正会員 | 南 浩輔 |
| 前田建設工業株式会社 | 正会員 | 佐藤 文則 |
| 東海大学 | 正会員 | 伊達 重之 |

1. はじめに

現在、コンクリート構造物の耐久性向上が重要視され、中でもコンクリート劣化の主な原因である鉄筋の防食について様々な研究がされている。その一つである金属被膜は、犠牲陽極として働いて鉄を保護し防食効果を発揮するという報告¹⁾がある。一方で、金属被膜は強アルカリ環境下で溶出するという報告²⁾もあり、実際に被膜された鉄筋がコンクリート内部に置かれた場合の挙動に関する研究事例は少ない。そこで本研究では、各種金属被膜の耐アルカリ性の確認を目的とし、被膜の種類、および周辺環境の違いによる影響について評価することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

実際のコンクリート内では被膜の腐食過程の確認が難しいため、本研究ではコンクリート環境下を模擬した溶液を使用した。

表-1 および表-2 に使用材料および溶液配合を示す。試験片の母材はSS400とSPCCの2種とし、母材寸法は厚さ2.3×20×50mm²とした。これに各種防食被膜を厚さ100μm程度コートした。なお、SPCCはJIS G 3141により炭素含有量等が規定された冷間圧延鋼板である。

表-1 使用材料

| | |
|----|---------------------------|
| 母材 | SS400 |
| | SPCC |
| 被膜 | 熱拡散亜鉛メッキ |
| | 亜鉛溶射 |
| | 亜鉛アルミニウム溶射 アルミマグネシウム溶射 |
| 溶液 | 水酸化ナトリウム水溶液 |
| | 細孔溶液 |
| | 細孔溶液+塩化ナトリウム |

表-2 溶液配合

| 溶液 | 配合 |
|--------------|------------------------------|
| 水酸化ナトリウム水溶液 | 水酸化ナトリウム10 wt% |
| 細孔溶液 | 水酸化ナトリウム1 wt%、水酸化カリウム1.4 wt% |
| | 水酸化カルシウム0.2 wt% |
| 細孔溶液+塩化ナトリウム | 細孔溶液+塩化ナトリウム3.5 wt% |

2.2 耐アルカリ性試験

本研究において金属被膜の耐アルカリ性の評価は、JIS A 1193-2005「コンクリート用連続繊維補強材の耐アルカリ試験方法」に準拠して行った。蓋付きの容器に入れた100mlの各種溶液中に試験片を浸漬し、60℃の保温庫で7日間静置した。試験片を容器から取り出し、蒸留水で洗浄・乾燥後、質量および膜厚の測定、目視による被膜の状態観察を行った。これを1サイクルとしてそれぞれ4サイクル繰り返し行い、試験終了とした。被膜の測定は被膜表面に非接触で行う必要があるため、図-1に示すレーザー変位計を使用した。

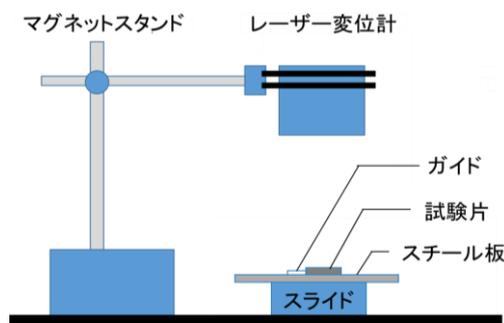


図-1 膜厚測定機器概略

2.2 被膜表面形態評価

浸漬前後の試験片について、SEMにより試験前後の被膜表面の形態観察とEDS分析を行い、浸漬前後での被膜の表面性状変化と被膜を構成する元素の変化を確認した。また、EDS分析の結果からXRDによる化合物分析も行い、アルカリ溶液に浸漬したことで被膜表面に起こった反応についても考察した。

3. 結果および考察

本研究の範囲内では、被膜の防食性ならびに耐食性に及ぼす母材の種類による影響は確認されなかった。よって本報ではSS400の結果についてのみ述べる。

キーワード 金属被膜, 亜鉛, カルシウム, 被膜生成物,

連絡先 〒 259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1 東海大学湘南校舎 TEL 0463-58-1211

図-2~3 に膜厚の変化と浸漬日数の関係を示す。膜厚は初期値を 100% とした増減率で示している。

「水酸化ナトリウム水溶液」に浸漬した被膜では、全被膜が試験終了までに溶液中に溶出したことが確認された。

カルシウムを含む「細孔溶液」では、アルミマグネシウム（以下、Al-Mg 系）被膜のみ被膜がすべて溶出したが、他の亜鉛系被膜 3 種では、明らかな膜厚増加が見られ、また質量についても増加傾向することが確認された。表-3 に Al-Mg 系の浸漬前後の EDS 分析結果を示す。浸漬後の被膜のアルミニウム量はいずれの溶液においても、浸漬前に比べ大きく減少したが、マグネシウムは大きな変化は見られなかった。浸漬前の Al-Mg 系被膜は、両性金属であるアルミニウムの含有量が多かった。そのため、アルカリ溶液に浸漬後はアルミニウムが溶出し、被膜が損失したものと推察される。なお、「細孔溶液+NaCl」に浸漬した被膜については、「細孔溶液」に浸漬したケースとはほぼ同様の膜厚増加傾向を示したため紙面の都合上データの記載を省略する。

膜厚の増加が見られた細孔溶液に浸漬した亜鉛系被膜 3 種について、耐アルカリ性試験前後の被膜表面の形態観察および EDS 分析を行った。一例として図-4 に亜鉛溶射の被膜表面形態変化を、表-4 に亜鉛系被膜 3 種の EDS 分析結果を示す。

試験終了後の被膜表面は凹凸が大きく、結晶のようなものが確認できた。また、亜鉛系被膜 3 種すべてにおいてカルシウムの増加量が大きいことが確認された。さらに、XRD による化合物分析を行った結果、細孔溶液に浸漬した亜鉛系被膜 3 種において、亜鉛とカルシウムの化合物である $\text{CaZn}_2(\text{OH})_6 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ を検出した。よって、カルシウムが存在する溶液における亜鉛系被膜の膜厚増加は、水溶液中のカルシウムと被膜中の亜鉛が反応によって被膜表面に生成物が形成されたことに起因するものと推察する。

4. まとめ

各種金属系防食被膜の耐アルカリ性の確認を目的とし、被膜の種類、および周辺環境の違いによる影響について評価した結果、本研究の範囲で以下の知見が得られた。

- (1) 亜鉛系被膜 3 種を含むすべての被膜が、水酸化ナトリウム水溶液で溶出した。
- (2) Al-Mg 系被膜はアルミニウムの影響が強く、かつ亜鉛を含まないため被膜を保護する化合物の形成がなく全滅した。
- (3) カルシウムが含まれる細孔溶液中では、被膜中の亜鉛との間で反応が起こったことにより化合物が表面に形成され、膜厚が増加した。

参考文献

1) W.K.Boyd & A.B.Tripler : コンクリート中の鉄筋の腐食, 防蝕技術, Vol.18, No.3
 2) 武若耕司 : コンクリート構造物の塩害対策における防食補強材について, 第 34 回防錆防食技術発表大会講演予稿集, 2014

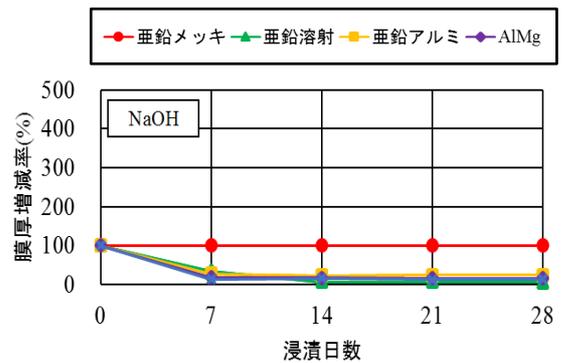


図-2 膜厚変化と浸漬日数の変化関係

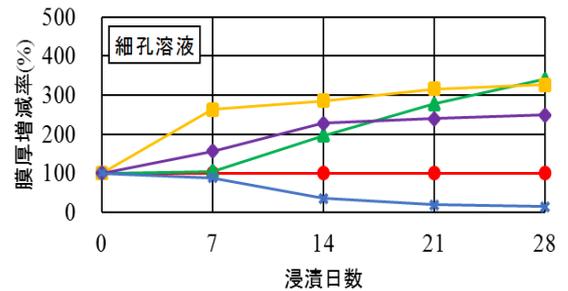


図-3 膜厚変化と浸漬日数の変化関係

表-3 各溶液における Al-Mg 系被膜の浸漬前後の EDS 分析結果

| | 質量% | | | |
|----|-------|-------|------|-----------|
| | 浸漬前 | 試験終了後 | | |
| | | NaOH | 細孔溶液 | 細孔溶液+NaCl |
| Al | 64.11 | 5.43 | 3.06 | 3.62 |
| Mg | 3.56 | 1.44 | 4.76 | 5.55 |

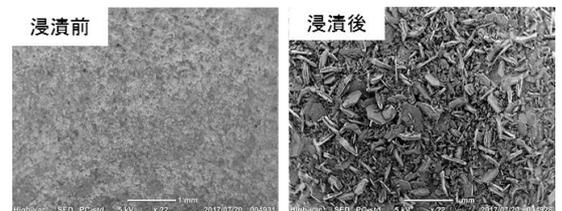


図-4 試験前後の亜鉛溶射の表面形態 (細孔溶液)

表-4 試験前後の亜鉛系被膜 3 種の EDS 分析 (細孔溶液)

| | 元素 | 質量% | | | | |
|----------|-----|-------|-------|------|-------|-------|
| | | C | O | K | Ca | Zn |
| 亜鉛メッキ | 浸漬前 | 17.54 | 38.67 | 4.59 | 1.06 | 15.88 |
| | 浸漬後 | 5.78 | 45.06 | - | 9.74 | 38.24 |
| 亜鉛溶射 | 浸漬前 | 20.48 | 7.37 | - | 0.81 | 71.22 |
| | 浸漬後 | 8.03 | 39.11 | 1.84 | 10.5 | 37.95 |
| 亜鉛アルミニウム | 浸漬前 | 49.73 | 16.26 | - | 2.31 | 測定不可 |
| | 浸漬後 | 8.73 | 42.37 | 0.99 | 11.84 | 36.08 |