

金属腐食の促進とその利用価値の検討

宮城県仙台第三高等学校

要旨

立地などから取り壊されずにいる建物を金属腐食を用いて破壊するために、先行研究である「複合サイクル腐食試験」を簡易的に行い、現実的環境下での腐食促進について研究を進めた。本研究ではNaCl水溶液、CaCl₂水溶液を時間を分けて鉄片に噴霧し、その後乾燥時間を伸ばした実験、鉄筋を用いた実験を行った。結果、鉄片も鉄筋も噴霧の時間と腐食量には比例の関係が見られた。しかし、乾燥の時間は直接的に腐食量との関係を示さず、腐食の侵食も見られなかった。この研究から、腐食の促進には、触媒、水、酸素のすべての要素が揃っていることが必要であり、建築物の破壊に用いる際には、すべてを金属腐食で行うのではなく、破壊の際のきっかけに使うことがより現実的であると考ええる。

I. 背景

近年、立地などの影響で取り壊されず放置されている建物が増えている。これらの建物を壊すため、私達は金属腐食が利用できるのではないかと考えた。しかし、そのまま腐食させ破壊につなげるのは困難である。そこで、腐食の促進方法として複合サイクル試験(CCT)¹⁾を参考にした。この試験では、中性塩水噴霧(35℃, pH 6.5~7.2, 2hr)、乾燥(60℃, 25%RH, 4hr)、湿潤(50℃, 95%RH, 2hr)を繰り返す。また、この試験1日分が大気暴露1年分とされている。この試験は短期間で腐食を促進させることができるが、専門の機械が必要であり、様々な変数を考慮しなくてはならない。そのため、私達はこの実験を簡単な内容に落とし込んで現実的な環境に近づけていき、最終的に建築物の破壊につなげることを目的として研究を行った。

実験における噴霧の必要性を調べるため、予備実験を行った。この実験では、小さい鉄片3つをNaCl水溶液(質量パーセント濃度10%)にそれぞれ20分、40分、60分浸漬させた。しかし、どの鉄片でも腐食が見られなかった(図1)ため、腐食には酸素が必要だと判断し、本実験では噴霧を行うこととした。

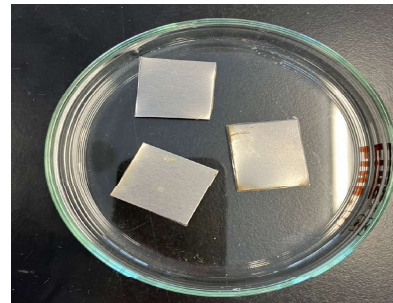


図1浸漬後の鉄片
(上:20分 左下:40分 右下:60分)

II. 実験

実験1

1. 1 目的

本研究の目的である金属腐食による建築物の破壊を現実的なものとし、安価で効率よく実験を行うために、私達の生活において身近にある物質である塩化ナトリウム(NaCl)、塩化カルシウム(CaCl₂)を用いて、先行研究である複合サイクル腐食試験を簡易的な内容に落とし込んで、実験を行った。

1. 2 実験方法

はじめに、大きい鉄片(5×6cm)を3枚用意し、すべての鉄片の裏面をビニールテープで覆い、質量を計る。次に、3つの鉄片に質量パーセント濃度5%([Cl⁻]=0.86 mol/L)の塩化ナトリウム水溶液(NaCl水溶液)をそれぞれ20分、40分、1時間ずつ噴霧する。その後、すべての鉄片を恒温器内で60℃で2時間乾燥させる。次に10%のクエン酸 水素二アンモニ

ウムで腐食部分のみを取り除き、質量を計る。このときに得た質量の値を、水溶液を噴霧する以前に得た質量の値と比較する。また、上記の実験手法を用いて、5%塩化ナトリウムと塩化物イオンのモル濃度を等しくした塩化カルシウム水溶液(CaCl_2 水溶液)を塩化ナトリウム水溶液の代わりに用いて実験を行った。

この実験において、 NaCl 水溶液の濃度、恒温器の温度、腐食部分のみを除去するために利用したクエン酸水素二アンモニウムという薬品は、それぞれ先行研究¹⁾と同じ条件で実験に用いた。クエン酸水素二アンモニウムによる鉄片の質量の変化について、腐食の見られない鉄片表面はクエン酸水素二アンモニウムによる反応が見られなかったため、質量変化は考慮しないものとする。

また、この実験における乾燥の工程の後に、金属片の表面を電子顕微鏡を用いて観察を行った。

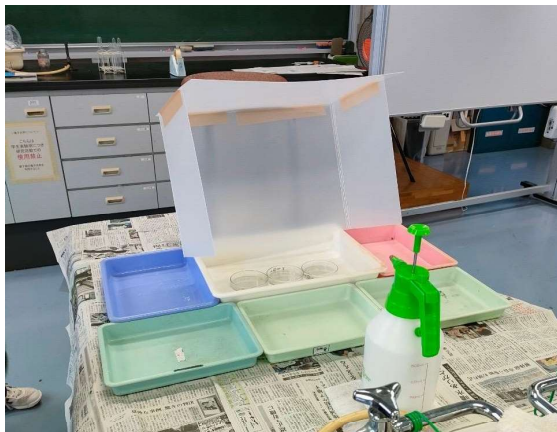


図2 実験時の実験器具の様子

1. 3 結果

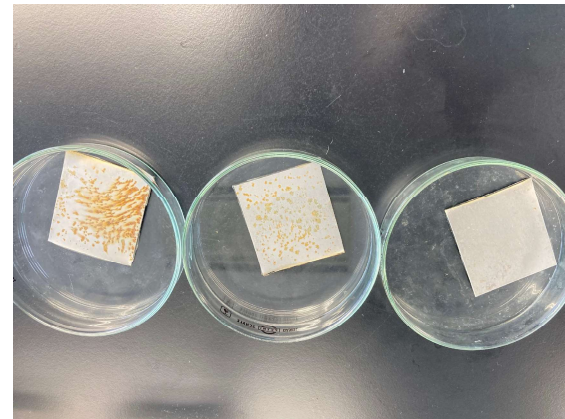
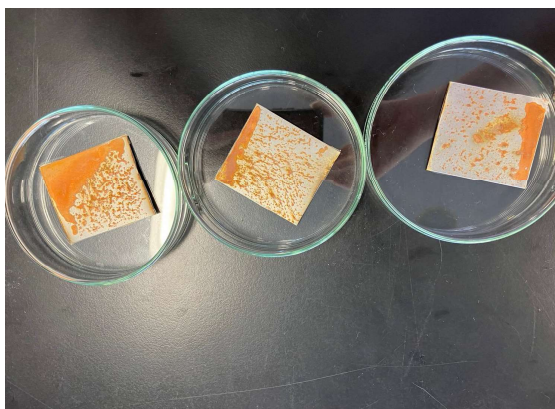


図3 腐食後の鉄片の様子

左、 NaCl 水溶液 右、 CaCl_2 水溶液
(それぞれ左から順に1時間、40分、20分の噴霧の様子)

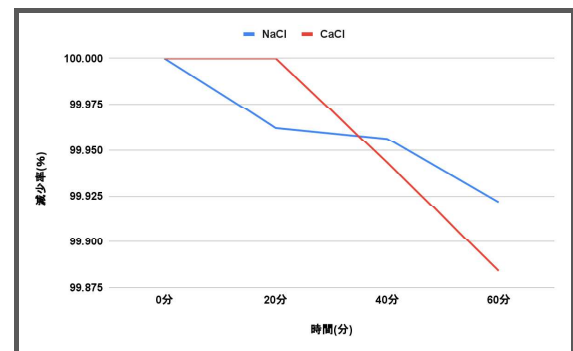
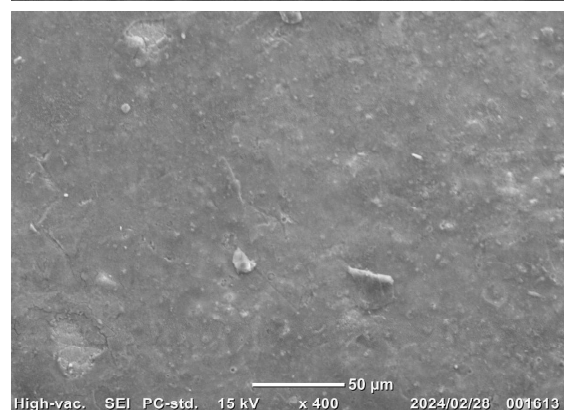
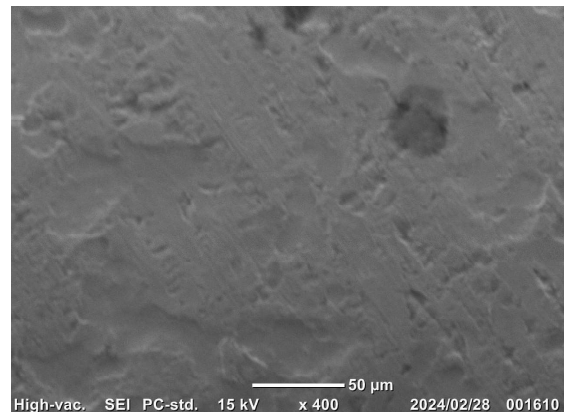


図4 実験1における実験前後での腐食量の減少率



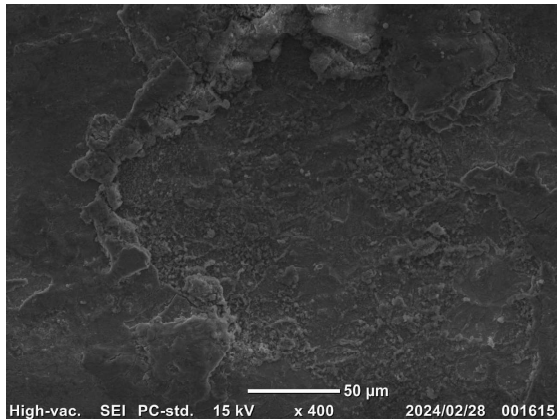


図5 鉄片表面の腐食状況の顕微鏡写真
(上から順に、実験前、NaCl水溶液、CaCl₂水溶液、を用いた実験後の写真)

図3から、視覚的には、より長い時間噴霧を行った鉄片、そして塩化ナトリウムを噴霧した鉄片の方が腐食しているように見える。一方、図1を見ると、見た目は反対に塩化カルシウムの方が減少量が多いことがわかる。また、時間と腐食量は比例の関係にあるといえる。図5から、実験を行うことによってどちらの溶液でも鉄片表面が粗くなっている様子がみられるが、塩化カルシウム水溶液を用いた鉄片の方が深く腐食していることがわかる。

実験2

2. 1 目的

実験1では、時間を変数として進め、時間と腐食量が比例関係にあることがわかった。しかし、実際の腐食量は少なかったため、実験の時間を大幅に増やすことで、現実的に建築物の破壊に効果を示すような量の腐食が起きるのかを調べる。実験2において、実験1と比較して対照実験になるようにするため、今回は温度を正確に一定に保ち時間のみを増やすことのできる、「乾燥」の時間を実験1とは変えて実験を行った。なお、腐食の際にはCaCl₂水溶液のみを用いて実験を行った。

2. 2 実験方法

乾燥の時間のみを対照実験の変数として扱うこととする。よって、噴霧が完了するまでの過程は実験1と同様にして行う。その後、恒温器に鉄片をいれ、すべて40日間放置する。(実験1:2時間 → 実験2:960時間)

2. 3 結果

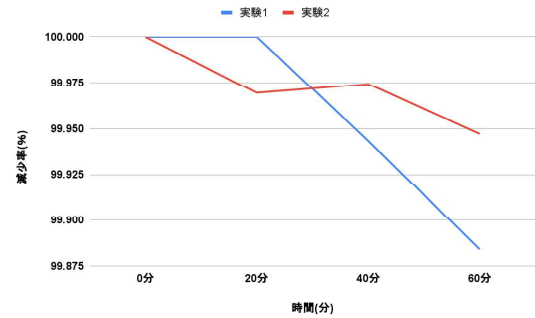


図6 実験2における実験前後での鉄片の減少率

図6より、長時間乾燥させても、鉄片の腐食量は増加しない結果となった。(実験1よりも減少率が低い部分は室温による誤差だと考えられる。)

実験3

3. 1 目的

金属の腐食を実際に建築物の破壊に利用するにあたって、鉄筋を利用した腐食試験を行う。建築物に実際に使われているのは鉄筋であるため、より現実的な状況での腐食の度合いを測れると考える。また、本研究における建築物の破壊では、建築物の鉄筋コンクリートにおいて鉄筋の露出した部分から腐食を促進していくという想定である。そのため、腐食を使った建築物の破壊が可能であるかを調べるために腐食の侵食の度合いを図る。

3. 2 実験方法

鉄筋を腐食させる手順は実験2と同様に行う。まず初めに、侵食した長さを測ることを可能にするため、鉄筋の中間に5cmを残し、その部分以外をビニールテープで覆って塩化カルシウム水溶液や酸素と触れないようにした。その後鉄筋を腐食させ、鉄筋を覆っていたビニールテープを取り、60℃の恒温器の中に放置し、5日毎(40日間)に腐食部分の長さを計測した。

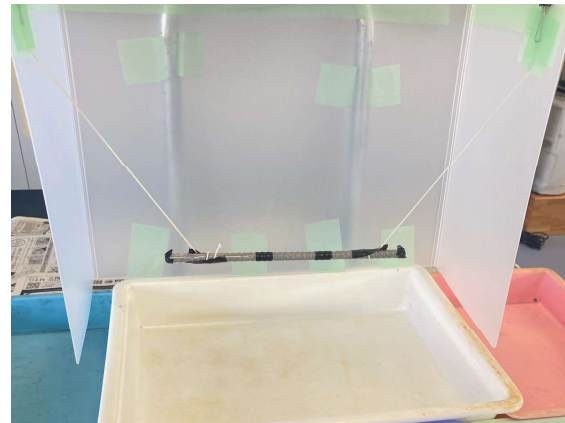


図7 鉄筋を腐食させる様子

3.3 結果

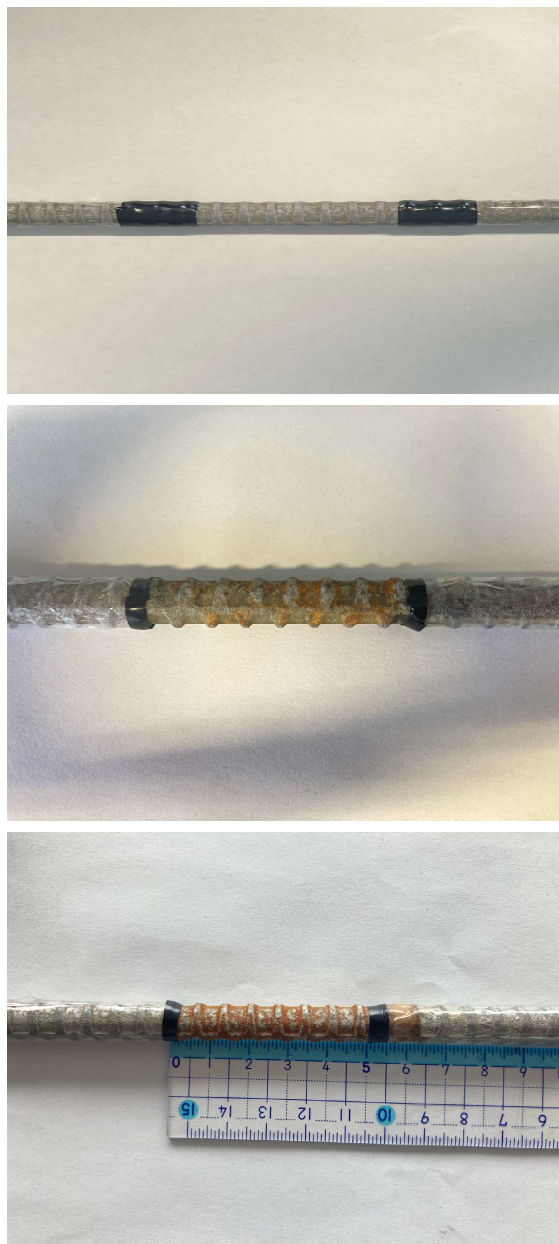


図8 鉄筋の腐食の様子
(上から、噴霧前、噴霧後、40日乾燥後)

鉄筋表面を腐食させることに関しては、問題なく可能であり、鉄片を用いた場合と大きな違いは見られなかった。噴霧後と40日乾燥を行ったあとの鉄筋を見比べても腐食部分の長さが変わらないことから、侵食がほぼ起こっていないことがわかった。

Ⅲ 考察

まず、噴霧の時間が長くなるほど、腐食が促進される、つまり、腐食量は時間に比例するといえる。また、 Cl^- の物質量を揃えても、減少量が大きく変わらなかったことから Cl^- 以外に大きな要因があるのではないかと考える。その要因として、酸化還元電位が考えられる。酸化還元電位が原因と考えると、 Ca^{2+} のほうが反応性が高いことがわかり、

CaCl_2 水溶液のほうが腐食量が大きかったことにも説明がつく。噴霧をした溶液の色が黄色く変色したことから、溶液中に鉄イオン(Ⅲ)が溶け出し、発生した錆の量は結果の質量より多いのではと考える。乾燥の時間と腐食量の関係が見られなかったこと、腐食の侵食が見られなかったことは、恒温器の中は湿度が低いために、反応が促進されなかったことが考えられる。

Ⅳ 結論

本実験において、金属腐食を促進するには、酸素・水・触媒を始めとした要因のすべてが必要不可欠であり、これは鉄片、鉄筋の違いに関わらない。これらすべての要因が十分に揃っている場合には、それ以外の状態と比較して、驚くほどに大きい反応速度が見られる。このことをうまく活用すると建築物を破壊できるほどの腐食を引き起こすことも不可能ではないと言える。

しかし、実験2・3のように乾燥時間など一要因を増加させるだけでは腐食は促進されないため、容易に腐食量を増加させることは難しいが、破壊そのものではなく、腐食部分を起点とする破壊のきっかけとしての利用が可能であると考えられる。

Ⅴ 今後の展望

実験2・3では乾燥の時間を増やしたが、乾燥した高温下ではなく、高温多湿の環境下では腐食の促進が起きるのかを明らかにしたい。次に、一度錆びた鉄を再度腐食させることによって、腐食の速さは大きくなるのかどうかを明らかにしたい。最後に、建築物の破壊のきっかけとしての有用性を測るため、腐食した金属の強度実験をしたい。

Ⅵ 参考文献

- 1) 林 直宏・山下勝也・小林弘明・片岡泰弘著複合サイクル試験の腐食促進試験への適用あいち産業科学技術総合センター 研究報告 2013 20~23頁 2013
- 2) 日本化学会 近畿支部「小・中・高生の化学のページ」 2006
- 3) 東邦精機 株式会社「技術で拓く明日の文化」 「サビ」の雑学
- 4) (株)吉崎メッキ化工所資料室 基礎科学「4.イオン化傾向と電極電位」2021年8月21日
- 5) 日本金属学会誌第50巻第11号(1986)1009—1016 鉄の孔食における塩化物イオンの役割 水野忠彦

6) 地下水学会誌 第59巻 第4号 355～368(2017)
地下水に含まれる塩化物イオンによる銅の腐食に
ついての簡易腐食促進試験に関する報告 佐々木
薫 秦 二郎 諸泉利嗣 西垣誠

7) 鉄の腐食における塩素イオンの役割 R.T.
Foley 1971 年 20 巻 5 号 p. 227-239
発行日: 1971/05/15