

## 環境による鉄の劣化

多田 篤司 伊藤 良哉 尾崎 大輝 高橋 航哉

### 1. 研究動機・目標

あらゆるところで鉄を建材とする建物は目にするが、その錆び方は場所によって様々である。海の近くだと錆びがよく発生するので食塩水は錆びにとって好環境、とおおまかには知っていたものの、どの程度の差がつくのかについては分からず、自分たちで調べてみようと考えた。

独自に作り出した環境で実験を行い、錆びによって発生する曲げ強度の違いを用いて、どの程度環境によって錆びつき及び劣化の差がつくのかを調べることを目的とする。

### 2. 本文の要約

実験の結果は概ね理論通りであり、水か食塩水を用いたときでは食塩水を用いたものの方が鉄は錆びやすく、鉄を乾燥させる期間を入れるものと入れないものでは入れないものの方が錆びやすい。

しかし、イオン交換水を実験に用いて、乾燥させる期間を入れるものと入れないものでは、入れなかった鉄のほうが劣化の度合いが早いことが分かった。

### 3. 本論

#### ○実験について

##### (1) 使用したサンプルについて

すべての実験で大豊製の鉄の丸棒(長さ 1m, 太さ 2mm)を購入し、それらをやすりで切り取り、長さ 12cm にしたものを用了。

##### (2) 実験に用いた道具について

###### (a) 実験台

実験を円滑に行うために、実験台を作った。作成法と使い方について述べる。

すのこにドリルでネジ穴を開け、ボルトとナットで板と金具 2 個を強固に固定する。金具の間隔は 10cm とした。また、以後これを台と呼ぶ。

###### (b) カセンサーとインターフェイス

カセンサーは PASCO 製「高精度力センサー」PS-2189

インターフェイスは PASCO 製「Xplorer GLX」をそれぞれ用了。

##### (3) 実験の方法

###### (a) 大まかな流れ

- I 鉄の棒を作成し、初日の測定値をとる。
- II 溶液中(※)や溶液外などの各環境に鉄の棒を置いておく。
- III 測定日(※※)が来るたびに数本の鉄の棒を折り曲げ、測定値をとる。
- IV 最後の測定日に鉄の棒を折り曲げた後、各測定日の測定値を平均し、測定日ごとの測定値の推移グラフを作り、各環境による違いを見る。

※溶液...イオン交換水と濃度 3.5%の食塩水をまとめてこう呼ぶことにする。

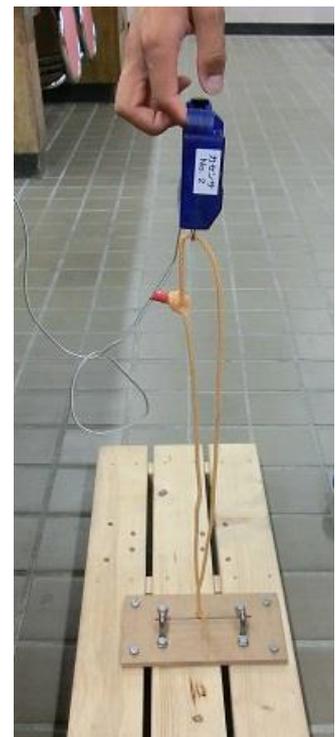
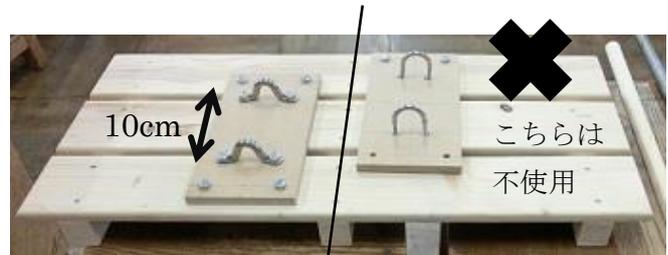
また「水」はイオン交換水を、「塩」は濃度 3.5%食塩水を表す。

すべての実験は 2 種類の実験を用いて行った。

※※測定日...実験開始日から数えて、鉄の棒を折り曲げる実験の日までの日数を示す。

###### (b) 鉄の棒の折り曲げ方

台の 2 個の金具の穴に鉄の棒を通し、金具の間の中心と鉄の棒の中心を合わせる。鉄の棒の中心とカセンサーをビニルひもでつなぎ、徐々に上方向に力が加えらると、鉄の棒が中心で折れ曲がっていく。鉄の棒の水平方向の長さが 10cm を下回った時に鉄の棒は台から外れる。台から鉄の棒が外れた時点で鉄の棒は折れ曲がったとした。



### (c) 実験の評価に使用した測定値について

鉄の棒が金具から外れたときにかけていた瞬間の力の大きさの値を「力のピーク」と呼ぶことにし、力のピークを測定値として用いた。

鉄の棒を折り曲げる際、力センサーは図 A のようなグラフを描く。実験中、徐々に力を加えていき、ある時刻で鉄の棒が金具から外れて力の値が急激に下がり始めるので、鉄の棒が金具から外れた瞬間が最も力を加えていた瞬間だといえる。

故に力のピークとは、実験中に加えた力の最大値である。

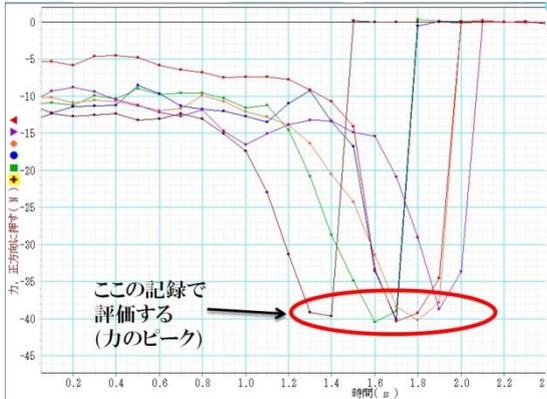


図 A

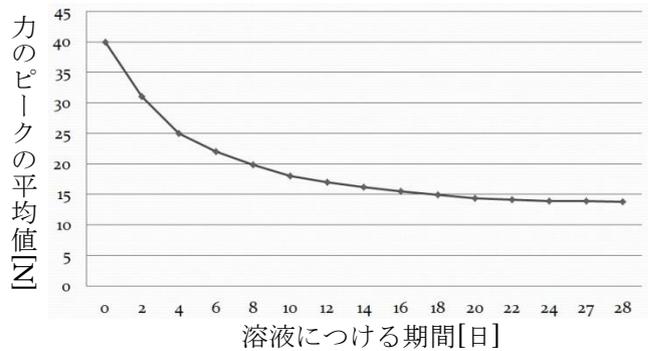


図 B

### ○予想

鉄の棒の表面がさびるとその後さびができる速度が遅くなる、という情報があったので、「溶液につける期間に対する力のピークの平均値の推移のグラフ」は図 B のようになると予想した。鉄序盤はさびがつく速度がはやいので急激に劣化が進むが、次第にさびが付きにくくなり劣化の進行が遅くなっていくと考えた。

### ○予備実験 1

#### (1) 実験条件

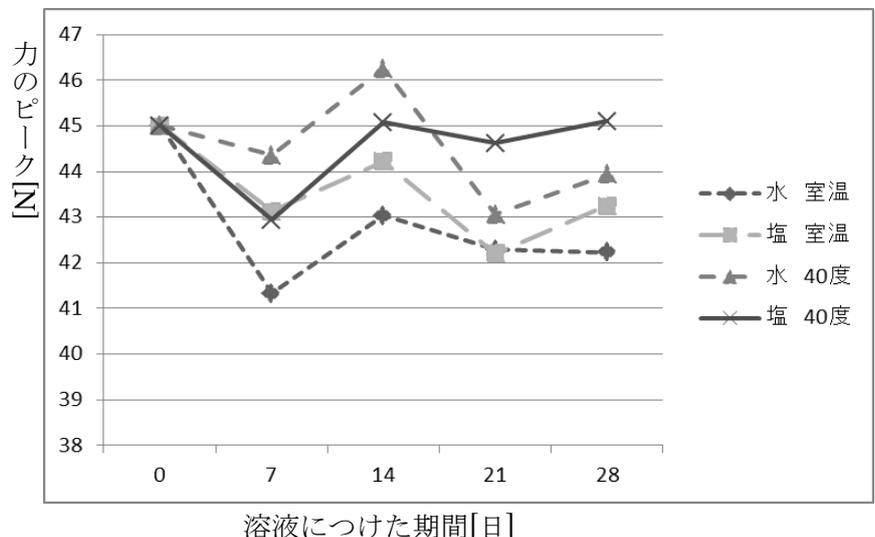
- ペットボトルに溶液と鉄の棒数本を入れて保存した。
- すべての鉄の棒を溶液につけたままにした。
- 棒の各個体の識別は行わなかった。
- 温度は 40℃と室温(15~25℃)の 2 種類
- 測定日は 7 日, 14 日, 21 日, 28 日
- 力のピークは 3 回の測定の平均値をとった。

#### (2) 結果

右図の通りで研究当初の予想とは大きく異なった。

#### (3) 考察

7 日目から 14 日目の間に値が上昇しているのが気かりだが、最初の 7 日間で値が減少していることは確からしい。そこで最初の 7 日間の推移を細かく見ることにした。



溶液につけた期間[日]

## ○予備実験 2

### (1) 実験条件

- ・鉄の棒に通し番号をつけた。
- ・同様に通し番号をつけた試験管に鉄の棒を入れた。
- ・すべての鉄の棒を溶液につけたままにした。
- ・棒の各個体の識別を行い、微小な長さの違いや質量の違いも記録した。
- ・温度は 40℃と室温(15~25℃)の 2 種類。
- ・測定日は 1 日, 2 日, 3 日, 4 日, 5 日, 6 日, 7 日
- ・力のピークは 3 回の測定の平均値をとった。

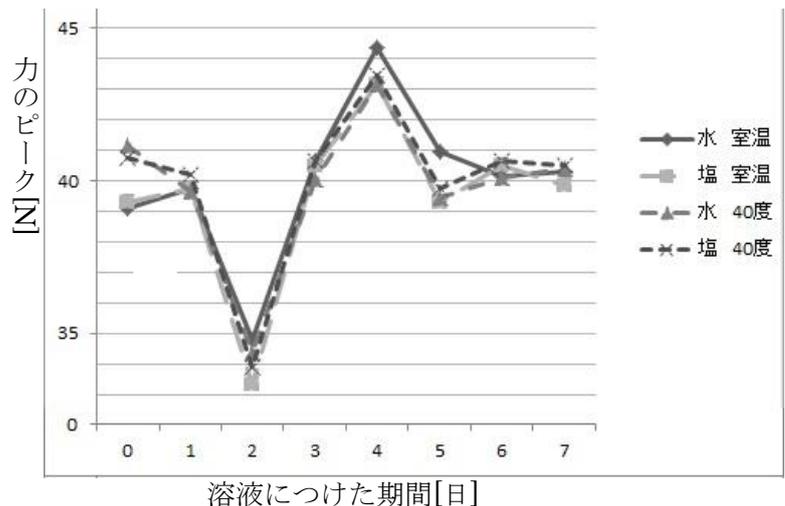
### (2) 結果

力のピークは大きく変動した。また、鉄の棒の長さ及び質量と力のピークに相関はなかった

### (3) 考察

#### (a) グラフから

予備実験 1 では溶液につけた期間が 28 日でもすべての環境下で力のピークが 40[N]以上なのにもかかわらず、今回では 2 日で 35[N]を下回っている。また 1 日と 2 日の力のピークが大きく違うことから、何らかの大きな誤差が生じていると考えた。



#### (b) 誤差の原因と改善策について

予備実験 1 と予備実験 2 では、力センサーの取り込み速度を 10Hz にして実験を行っていた。鉄の棒を折り曲げるとき、測定開始から棒が折れ曲がるまでおよそ 2 秒になるよう調整していたが、これだと測定で 20 打点しか記録できず、加えて力のピーク付近ではほとんど打点がないことに気付いた。

本当の力のピークは一瞬しか起こらないので、打点と打点の間に力のピークが発生した場合、グラフに反映されない。

そこで打点速度を 50Hz に変更し、より正確に力のピークを測定できるようにした。

## ○予備実験 3

### (1) 目的

予備実験 2 で鉄の棒の長さ及び質量と力のピークに相関はなかったという結果が出ていたが、実験そのものに問題があったと考えられるので再度検証が必要である。そこで鉄の棒の長さ及び質量と力のピークの相関のみを調べるために行った。

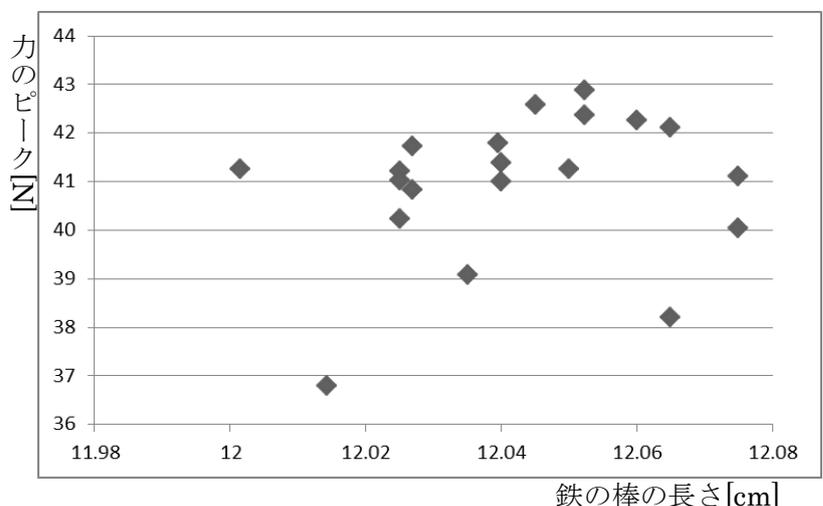
### (2) 実験条件

- ・鉄の棒を作成して、微小な長さの違いや質量の違いを記録する。
- ・溶液につけずにその場で折り曲げる。

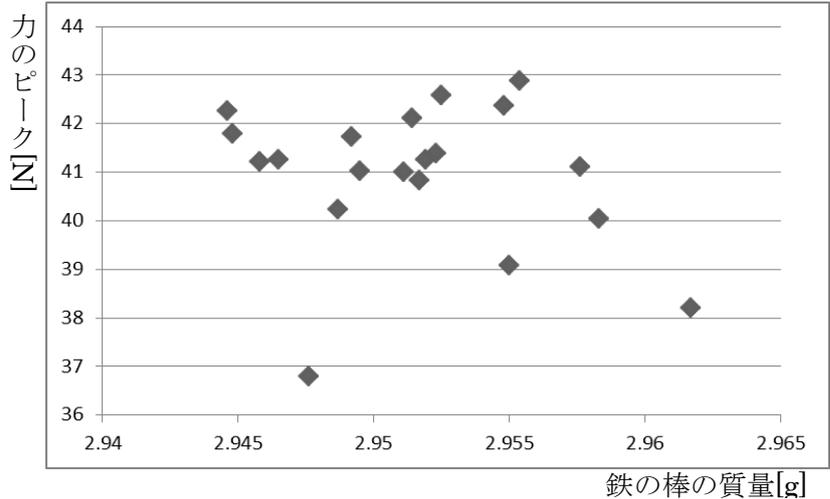
### (3) 結果

「鉄の棒の長さ-力のピーク」相関図と「鉄の棒の質量-力のピーク」相関図を示す。

右図は、「鉄の棒の長さ-力のピーク」相関図である。相関関係はないといえる。ゆえに鉄の棒の微小な長さの違いは力のピークに影響を及ぼさない。



右図は、「鉄の棒の質量-力のピーク」相関図である。  
 相関関係はないといえる。  
 ゆえに鉄の棒の質量の違いは力のピークに影響を及ぼさない。



○本実験

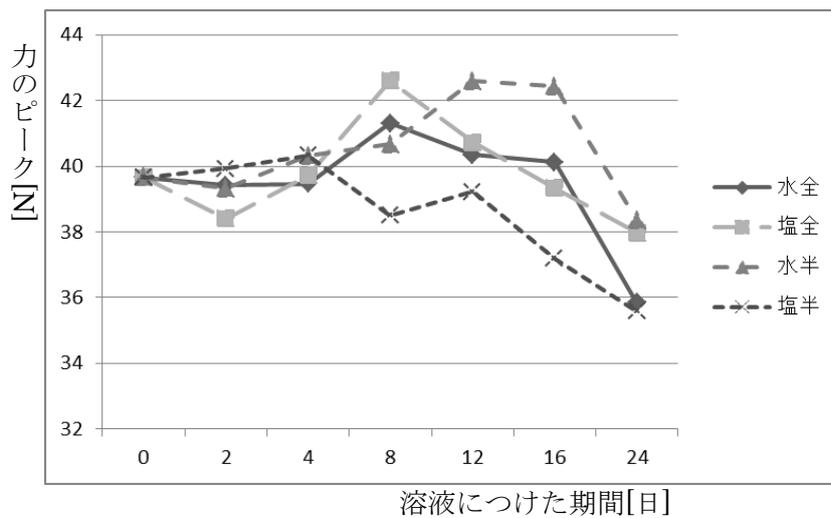
(1) 実験条件

- ・鉄の棒を平たい発泡スチロールにさし、溶液が入ったビーカーに沈めた。
- ・常に溶液につかっているもの(グラフ中では「全」とする)と1日ごとに溶液につかっている状態と出して乾燥させている状態を入れ替えたもの(グラフ中では「半」とする)の2種類の環境を用意した。
- ・温度は40℃とした(実験の高速化を図るため)。
- ・溶液から出しているときも40℃の環境下で保存した。
- ・40℃の環境下で湿度は約78%だった
- ・測定日は2日、4日、8日、12日、16日、24日
- ・力のピークは8回の測定の平均値をとった。

環境の種類は以下の4種類となった。

- ・常にイオン交換水の中に入れていたもの 「水全」
- ・常に食塩水の中に入れていたもの 「塩全」
- ・1日ごとにイオン交換水から出入したもの 「水半」
- ・1日ごとに食塩水から出入したもの 「塩半」

(2) 結果

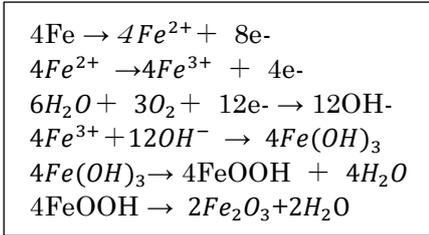


### (3) 考察

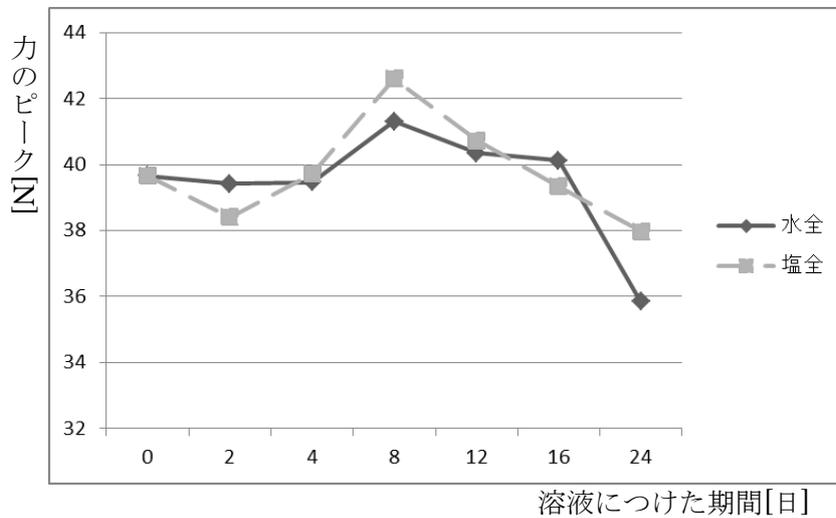
共通点を持つ2つのグラフを抜き出して、それぞれ考察することにした。

#### (a) 「水全」と「塩全」について

ほとんど同じような形で変化している。このことを説明するために鉄さび発生のメカニズムについて示す。



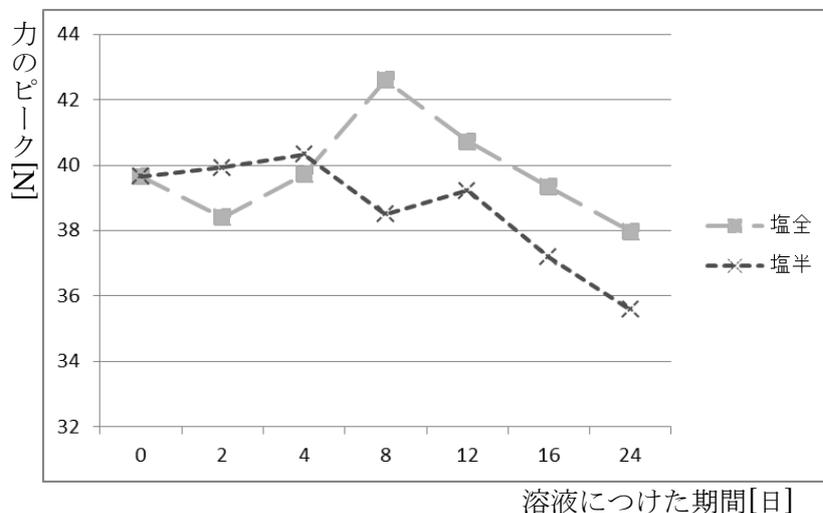
これらの式から鉄さび( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )の発生には酸素と水が必要不可欠であることがわかる。「水全」と「塩全」は空気に触れず、酸素の供給は溶液中の溶存酸素量に限られる。食塩水はイオン交換水を用いて作っているのだから、溶存酸素量はほぼ同じである。よって二つのグラフにほとんど違いがみられないのだと考えた。



#### (b) 「塩全」と「塩半」について

「塩半」のほうがより劣化が進んでいることが分かる。

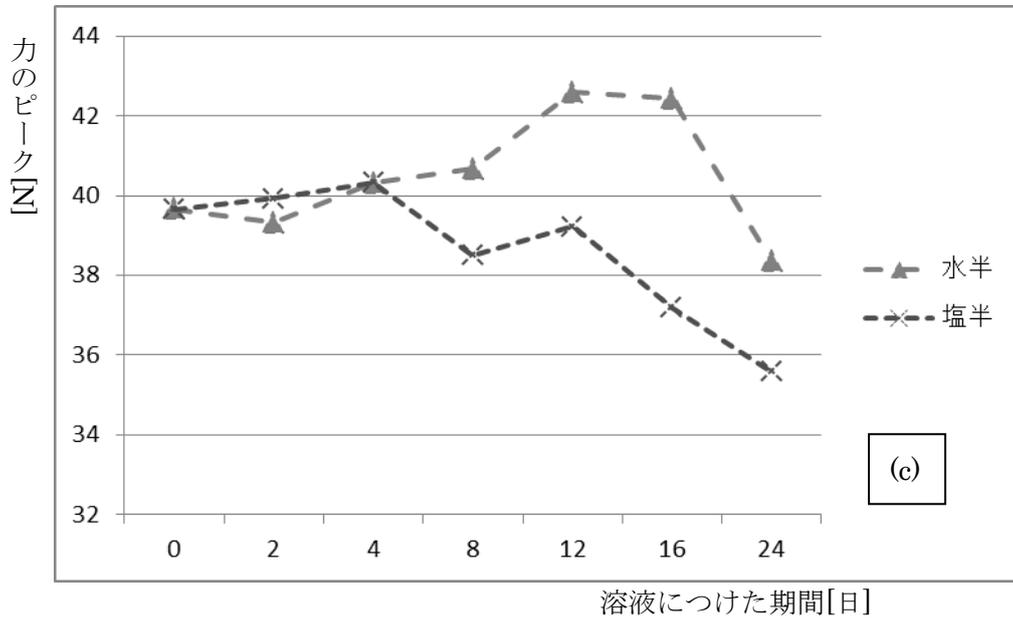
実験環境の湿度が高かったため水溶液から鉄の棒を出している期間でも、多くの水分が供給されていた。水分の量が同じときさびの生成量は酸素の量に依存するので、空気に触れさせる時間があつた「塩半」の方がより劣化が進んでいたといえる。



**(c) 「水半」と「塩半」について**

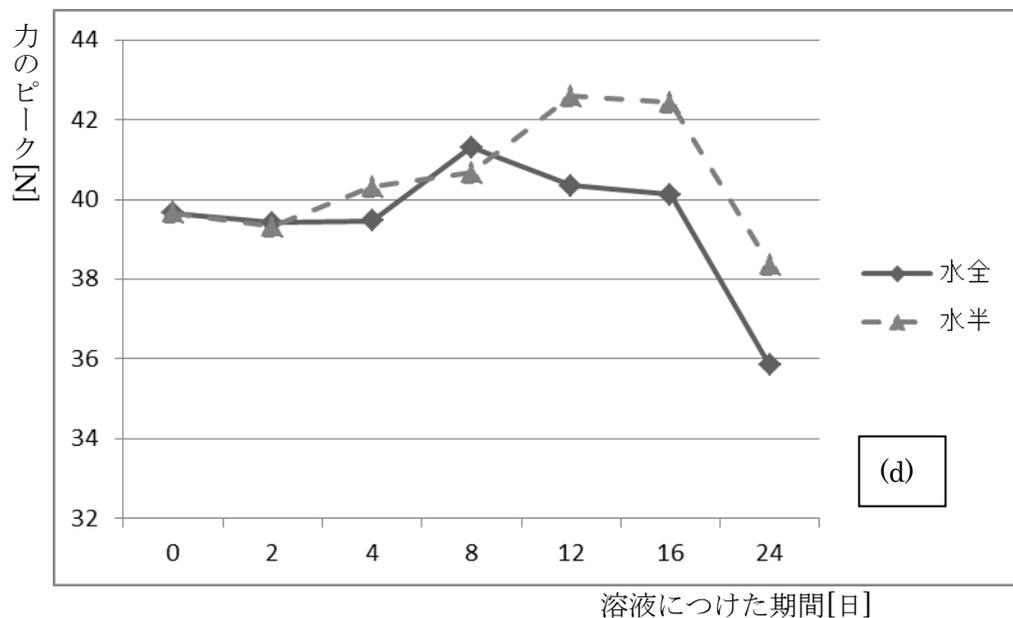
「塩半」のほうがより劣化が進んでいることが分かる。

食塩には吸湿性があり、実験環境中の水分を吸収し続ける。酸素の量が同じなので水分の供給がより安定する「塩半」の方がより劣化が進んでいたといえる。



**(d) 「水全」と「水半」について**

「水全」のほうがより劣化が進んでいることが分かる。これは今までの「溶液につけたままよりも溶液につけない期間がある方がよい」という理論とは矛盾したものである。



また、今までは無視してきたが、序盤に鉄の棒の強度が上がっていることも最初の予想と反したものであり、これらについて自分たちで理由を考えた。

序盤に鉄の強度が上がっていることに対しては、力のピークを曲げ強度を用いて計測しているからだと考えた。曲げ強度とは、計測するものの硬さではなく、粘り強さを数値化するものであり。鉄さびは、鉄に比べて硬度が低いですが、実験序盤に表面だけが薄くさびることによって鉄がコーティングされたような形となり粘り強さが増したために強度が上がったと推測した。

しかし、コーティング説を信用したとしても、常に水につけていたものの方が、水に出し入れしたものの方よりも、劣化は遅いはずである。こうなった理由は、表面をコーティングしているものの性質が異なるからではないかと考えた。

そこで実験のときの鉄の表面について観察することにした。

写真 C は 28 日間常にイオン交換水につけたものの様子である。灰色の所と黒ずんだ所がみられる。

写真 D は 28 日間 1 日ごとにイオン交換水につけている状態と出している状態とを交換したものの様子である。灰色の所と黒ずんだ所は見られず、赤褐色のさびがみられた。



写真 C



写真 D

これらから灰色の所や黒ずんだ所と赤褐色のさびではコーティングとしての性質が異なっているため、強度に違いが生まれるのではないかと考えた。

#### 4. 今後の課題

自分たちが推測した鉄さびや鉄の酸化皮膜によるコーティング効果は実際に存在するものなのか、また存在するならばそれは見た目によって性質が変化するものなのかを検証することである。