

# 腐食生成物の溶解・沈殿効果を有する補修材

中央大学 学生会員 ○高橋 泰介

中央大学 正会員 大下 英吉

## 1. はじめに

昨今、RC 構造物においては、中性化や塩害等に起因する劣化において、コンクリートの剥離、剥落等による第三者被害の発生、構造性能や耐久性能の低下が問題となっている。これらの劣化は、コンクリート中にある鉄筋の不導体皮膜が破壊され、腐食生成物が生じ、コンクリートにひび割れが起きることが大きな要因として挙げられる。また、ひび割れ発生に及ぼす腐食生成物の影響は大きいことが確認されている。そこで、既存の構造物の各種性能低下を抑制し、長期供用を可能とする上で腐食生成物の除去が必要不可欠である。

最も実用的な補修工法として、コンクリートのひび割れに防錆材を注入させた後、無機系注入材によってひび割れを閉塞させる工法が挙げられる。しかし、補修材が十分に腐食生成物を抑制できず、再劣化する問題が生じている。また、構造物の長期寿命化を目指す上で、補修に係るコストの削減は非常に重要である。

そこで、本研究では、腐食生成物の除去が可能で経済的な補修工法を開発することを目的とし、新たな補修材の検討を行った。腐食生成物の減少量を測定する際に使用するクエン酸水素二アンモニウムに着目し、クエン酸水素二アンモニウムを生成するクエン酸とアンモニア水の比率や溶液濃度を変え、腐食生成物の除去への影響評価を行うこととした。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験手順

クエン酸水素二アンモニウムによる腐食生成物の除去効果の測定を行う。試料は、腐食した D16 異形鉄筋を 5cm 間隔で切断したものである。以下に、実験手順を示す。まず、電子天びんによってクエン酸 ( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ )、アンモニア水 ( $NH_4 \cdot OH$ , 濃度 28%)、純水、浸漬前の鉄筋の質量を測定する。クエン酸および純水をビーカーに入れ、クエン酸が完全に溶解するまでスターラーにより攪拌を行った。その後、アンモニア水を

少量ずつ添加させ、クエン酸水素二アンモニウムを生成した。生成したクエン酸水素二アンモニウムに鉄筋を浸漬させ、各浸漬時間が経過した後に鉄筋を取り出し、質量を測定する。また、溶液中に沈殿した腐食生成物をろ紙によって抽出する。再度クエン酸水素二アンモニウムに 24 時間浸漬させ、腐食生成物を完全に除去した後の質量を測定し、鉄筋に付着していた腐食生成物の質量(以下、錆び量)を求める。なお、本研究における腐食生成物の除去効果を表す減少率は、次式のように定義した。

$$\text{減少率}(\%) = \frac{\text{浸漬前質量}(\text{g}) - \text{各時間浸漬後質量}(\text{g})}{\text{浸漬前質量}(\text{g})} \times 100$$

### 2.2 実験パラメータ

クエン酸水素二アンモニウム溶液濃度が腐食生成物の除去効果に及ぼす影響を調べるために、アンモニア水 20g、クエン酸 33.6g を一定とし、純水の量によって濃度を変化させた試験を行った。また、生成するクエン酸水素二アンモニウム溶液の濃度を 20%とし、クエン酸とアンモニア水の比率を変化させた試験を行い、比率と除去効果への影響を調べた。各実験において、使用した試料は、切断前に一本の鉄筋であったものは同じアルファベットとし、鉄筋端から切断した順に 1, 2, 3 とした。また、鉄筋名 C のみ鉄筋を二本使用し、錆び量を増加させた際の影響を測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 濃度の影響

表-1、表-2および表-3はそれぞれ、生成したクエン酸水素二アンモニウム溶液の濃度ごとの錆び量と減少率および浸漬時間を示したものである。

表-1 濃度 10%

| 鉄筋名    | A1   | A2   | A3  | B1   | B2   | B3   | C1   | C2  | C3   | C4   | C5   | C6   |
|--------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 錆び量(g) | 0.87 | 2.06 | 3.3 | 1.25 | 1.59 | 2.04 | 1.55 | 3.1 | 1.41 | 1.35 | 2.59 | 1.52 |
| 減少率(%) | 0.86 | 1.26 | 1.7 | 0.78 | 1.02 | 1.28 | 1.02 | 1.5 | 1.13 | 1.16 | 1.71 | 1.26 |
| 浸漬時間   | 13   | 16   | 19  | 13   | 16   | 19   | 6    | 12  | 15   | 18   | 21   | 24   |

表-2 濃度 20%

| 鉄筋名    | A4   | A5   | A6  | B4   | B5   | B6   | C7   | C8  | L2   | O2   | K2   |
|--------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 錆び量(g) | 1.53 | 0.83 | 1.5 | 2.78 | 0.88 | 1.97 | 2.42 | 3.1 | 0.65 | 1.5  | 0.85 |
| 減少率(%) | 1.31 | 0.83 | 1.6 | 1.55 | 0.53 | 1.24 | 1.84 | 1.4 | 0.98 | 1.74 | 1.22 |
| 浸漬時間   | 13   | 16   | 19  | 13   | 16   | 19   | 18   | 21  | 7    | 10   | 13   |

表-3 濃度 30%

| 鉄筋名    | A7   | A8   | A9  |
|--------|------|------|-----|
| 錆び量(g) | 1.43 | 1.06 | 1.2 |
| 減少率(%) | 1.19 | 1.08 | 1.5 |
| 浸漬時間   | 13   | 16   | 19  |

キーワード 腐食生成物 補修材 クエン酸水素二アンモニウム

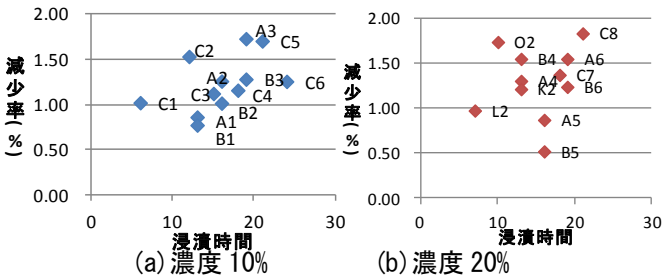


図-1 浸漬時間と減少率の関係

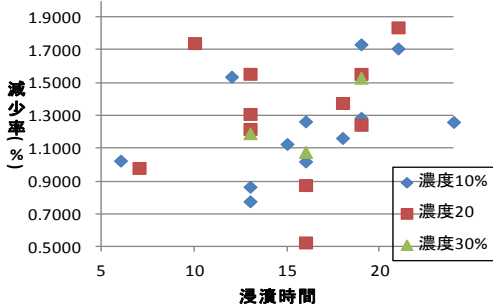


図-2 各濃度における浸漬時間と減少率の関係

図-1 に、(a) 濃度 10%, (b) 濃度 20%における浸漬時間と減少率の関係を示す。図-2 に、各濃度における浸漬時間と減少率の関係を示す。図-1、図-2 から、浸漬時間を増加させていくと、減少率が上昇していく傾向が確認された。この結果から、クエン酸水素二アンモニウムをより長時間浸漬させることで、溶解効果が期待できると考えられる。

3.2 比率が及ぼす除去効果への影響

表-4 に実験に用いる各試料の比率を示す。タイプ①はアンモニア水を添加せず、クエン酸をキレート錯体に化学反応させない場合、タイプ②はアンモニアとクエン酸の比率を 1:6 に設定した場合、タイプ③はクエン酸の添加量のみ増加させ、比率を 1:9 にした場合、タイプ④はアンモニアの添加量を増加させたときの影響を調べるために比率を 1:2 とした。図-3 に各比率における浸漬時間と減少率の関係を示す。表-4 から、タイプ④はタイプ①、②と同量のクエン酸を加えたにも関わらず錆び量が減少しないという結果となった。これは、アンモニア水

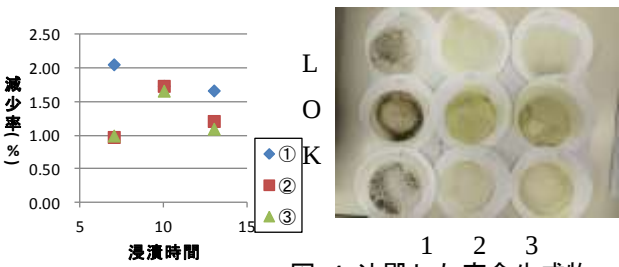


図-3 浸漬時間と減少率の関係



図-4 沈殿した腐食生成物

の添加量が多すぎたことが原因として挙げられる。アンモニア水 60g (濃度 28%) に含有するアンモニアは 16.8g であり、アンモニアとクエン酸の比率が 1:2 では腐食生成物の溶解効果はないことが確認できた。また、各浸漬時間において、タイプ①が最も減少率の高い結果となったことから、クエン酸による腐食生成物の除去効果が確認された。また、図-3 から、浸漬時間と減少率の比例関係はみられなかったが、実験量が不足しているためと考えられる。図-4 は、各浸漬時間後に、ビーカーの下部に沈殿した腐食生成物をろ紙によって抽出したものである。タイプ①では、タイプ②、③と比べ、鉄筋から除去された腐食生成物が溶液中に沈殿する傾向が確認された。戸田ら<sup>1)</sup>の研究より、補修材を鉄筋に十分に塗布できない場合、腐食および補修界面の剥離が生じることが確認されている。沈殿した腐食生成物、すなわち、溶解せずに鉄筋から除去された腐食生成物の量はタイプ①の方が多くなっており、補修に適していない可能性が考えられる。

4. まとめ

- 本研究により得られた知見を以下に示す。
- ・クエン酸水素二アンモニウムをより長時間浸漬させることで、腐食生成物の溶解効果が期待できると考えられる。
  - ・アンモニアに対して、クエン酸の質量が 2 倍以下では腐食生成物を溶解することができない。
  - ・クエン酸のみで腐食生成物を除去することは可能であるが、補修に適していない可能性が考えられる。

表-4 比率を変えた際の実験結果

| タイプ | 鉄筋名  | アンモニア水(g) | クエン酸(g) | 純水(g) | 錆び量(g) | 浸漬時間(h) | 減少率(%) |
|-----|------|-----------|---------|-------|--------|---------|--------|
| ①   | L1   | 0         | 33.6    | 134.4 | 2.02   | 7       | 2.06   |
|     | O1   | 0         | 33.6    | 134.4 | 1.81   | 10      | 1.74   |
|     | K1   | 0         | 33.6    | 134.4 | 1.33   | 13      | 1.67   |
| ②   | L2   | 20        | 33.6    | 142.4 | 0.65   | 7       | 0.98   |
|     | O2   | 20        | 33.6    | 142.4 | 1.5    | 10      | 1.74   |
|     | K2   | 20        | 33.6    | 142.4 | 0.85   | 13      | 1.22   |
| ③   | L3   | 20        | 50.4    | 209.6 | 0.72   | 7       | 1.00   |
|     | O3   | 20        | 50.4    | 209.6 | 1.28   | 10      | 1.67   |
|     | K3   | 20        | 50.4    | 209.6 | 0.77   | 13      | 1.10   |
| ④   | I3J1 | 60        | 33.6    | 158.4 | 2.54   | 18      | 0      |
|     | I5J2 | 60        | 33.6    | 158.4 | 2.66   | 21      | 0      |

参考文献

1) 戸田ら, ひび割れ発生時におけるコンクリート中の鉄筋腐食量に関する研究, コンクリート工学論文集, 第 21 巻第 3 号

まず、図-1における減少率が著しく低いA2, A3, C3D1に着目する。表-1から、他の鉄筋と比べ、錆び量が多いことがわかる。また、図-2において(a)濃度 10%, (b)濃度 20%に着目すると、錆び量が多い供試体ほど、濃度に関わらず減少率が低下する傾向が確認できた。

この結果から、一定量のクエン酸水素二アンモニウムによって、溶解できる錆び量には限界があり、クエン酸水素二アンモニウムの添加量を増加させる必要があると考えられる。