

鋼とコンクリート界面の腐食に関する基礎的研究

宇都宮大学 学生員 ○倉持弥奈, フェロー 中島章典, 正会員 鈴木康夫

1. はじめに

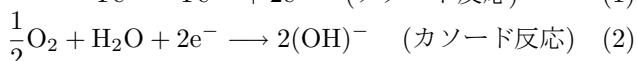
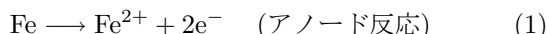
2007年に国道23号木曽川大橋において、H形鋼部材のトラス斜材が破断しているのが発見された^{1),2)}。鋼部材を囲むように打設されたコンクリートと鋼部材との界面が激しく腐食したことが原因である。一般に、コンクリートと接触する鋼部材は腐食しないと考えられていた。しかし実際には、鋼部材とコンクリートの界面には雨水などが浸入して腐食環境にあったのに対して、コンクリートに囲まれた鋼部材塗装の塗替えなどは行われていなかったことが問題となった。

鋼コンクリート複合構造では、鋼とコンクリートの界面が必ず存在するが、一般には、鋼とコンクリート界面の付着状態は、上記の木曽川大橋の場合よりは良いとしても、鋼とコンクリートの配置やコンクリートの打設状況によって種々に変化すると考えられる。そして、種々の状態における鋼とコンクリートの界面が腐食するか、しないかはあまりよく知られていない。

そこで本研究では、鋼板の上からコンクリートを打設することで、両者の界面の付着状態が良く、すき間がでにくい供試体を作製し、いくつかの腐食環境に設置して、それぞれの供試体の界面の鋼板に錆が発生するかどうかを調べる。また、鋼材腐食のメカニズムを考慮した上で、水の浸入やpHなどの観点から鋼材に発生した錆についての考察を行う。

2. 腐食のメカニズム

まず、水分と酸素によって鋼材が腐食するメカニズムについて説明する。鋼材の腐食は以下のような酸化反応（アノード反応）と還元反応（カソード反応）によって起きる。



鋼板の表面上のアノードでは鉄原子が電子を失い（酸化反応）、鉄イオン Fe^{2+} となって水中へ溶解するので、アノードには腐食が生じる。カソードでは酸素が電子を受け取って（還元反応）、水酸化物イオン OH^- へ変化し、水中へ移動する。このときカソードは電子の受け渡し場所となるだけで、カソードは変化を生じない。このような仕組みを腐食電池という³⁾。

鋼板の同一表面上で酸素供給に差、すなわち通気差がある場合、酸素供給が豊富なところがカソード、貧弱なところがアノードとなり、これらが腐食電池を形成してアノードの腐食が進む。これを通気差系マクロセル腐食（酸素濃淡電池腐食）という。

本研究においては、鋼板とコンクリートの界面での酸素供給の差や界面の水分が腐食に影響すると考えられる。

3. 曝露試験

鋼板とコンクリートで作製した供試体を一定期間3種類の環境に設置し、界面に錆が発生しているかどうかの確認を行う。また、設置環境や設置期間などにおいて鋼板に発生した錆の状態を比較し、それらの錆が発生する要因やメカニズムについて考察する。作製した供試体の界面と断面の概要を図-1に示す。

厚さ3.2mm、幅200mm、長さ200mmの鋼板を型枠の底面に敷き詰め、その上から厚さ100mmのコンクリートを打設することで供試体を作製した。鋼板のコンクリートに接する面の黒皮は除去し、また、鋼板がコンクリートから容易にはずれないようにするために鋼板の四方の角に直径5mm、高さ15mmのボルトを取り付けた。

供試体の設置環境は以下の3つとし、鋼板とコンクリートの界面が地面と垂直になるように供試体を設置した。

1. 実験室乾燥状態：実験室内で通常の温度、湿度の状態に設置する。
2. 屋外曝露状態：屋外に設置し、常時天候の影響を受ける。
3. 実験室定期湿潤状態：実験室内に設置し、定期的（週に1度3時間）に供試体を水道水に浸す。

4. 曝露試験結果

コンクリート打設から約90日後と180日後にそれぞれの設置環境から3体ずつ供試体の鋼板を取り外し、界面を観察した。鋼板のコンクリートと接する界面の写真をそれぞれ写真-1、写真-2に示す。

実験室乾燥状態の供試体では、90日後と180日後のどちらの場合でも、わずかに腐食している箇所はあったものの、目立った腐食は見られなかった。

屋外曝露状態の供試体では、鋼板の縁で錆が発生しており、180日後の鋼板は90日後よりもさらに錆が中央に向かって進行していることがわかった。

実験室定期湿潤状態の供試体も鋼板の縁で錆が発生していた。

5. 腐食の評価

すべての供試体において、鋼板の縁で錆が発生しており、中央部分は腐食しないということがわかった。そこで腐食の評価方法として、鋼板の1辺において錆が縁から中央に向かって最も進行している箇所の長さを計測した。

それぞれの設置環境で3枚の鋼板を取り外したので、設置環境ごとに12辺（4辺×3枚＝12辺）の錆の最大長さを計測し、その平均値を算出した。錆の最大長さの平均値を表-1に示す。表-1より、屋外曝露状態、定期湿潤状態、実験室乾燥状態の順に錆が進行していることがわかる。

また、90日後と180日後の鋼板の各辺における錆の最大長さを比較した図を図-2、図-3に示す。横軸は鋼板1枚における辺の番号、縦軸は錆の最大長さを表している。

図-2より、90日後の場合では、屋外曝露状態の鋼板の腐食が激しく、最も厳しい設置環境であったことがわかる。一般に、酸素を含んだ水の微粒子が薄い水膜を作る状態が最も激しく錆を生じる条件であり⁴⁾、水道水よりも酸素を多く含んだ雨水の影響によって、屋外曝露状態の供試体の錆が最も進行したと考えられる。

図-3より、180日後では、90日後の場合と比較すると、錆が進行しているが、同一環境内に設置した供試体の3枚の鋼板の縁に発生した錆の最大長さに差があることが特徴である。これは、コンクリートと鋼板の付着の良し悪しに差があることが影響したと考えられる。90日後の場合では、錆がそれほど進行していなかったため、付着の良し悪しによる影響が顕著に現れなかったといえる。

Key Words: 複合構造, 鋼コンクリート界面, 腐食

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

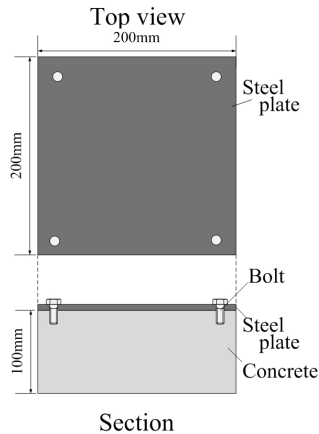


図-1 供試体図

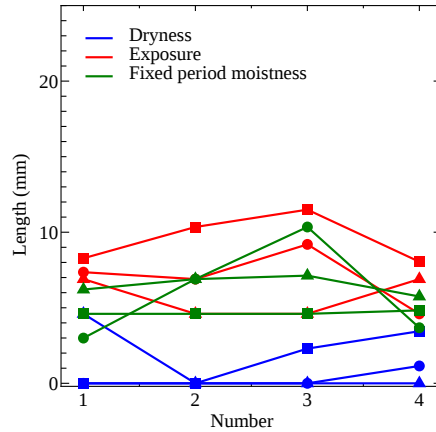


図-2 各辺の錆の最大長さ (90 日後)

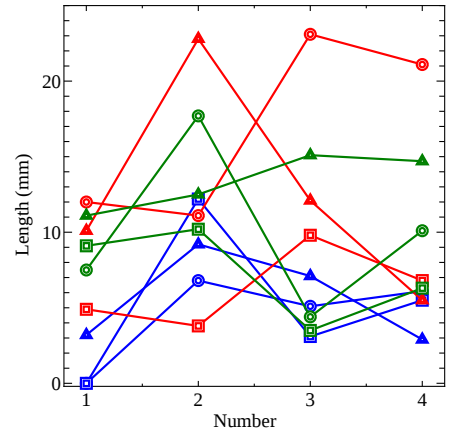


図-3 各辺の錆の最大長さ (180 日後)

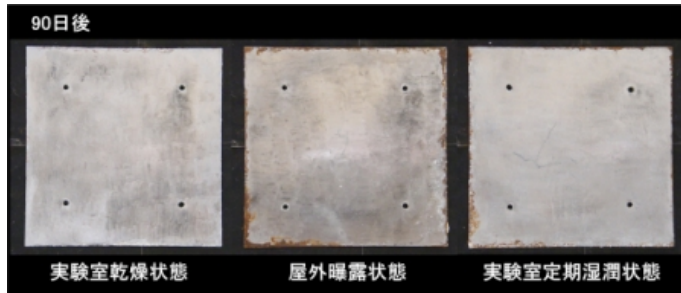


写真-1 界面の状態 (90 日後)

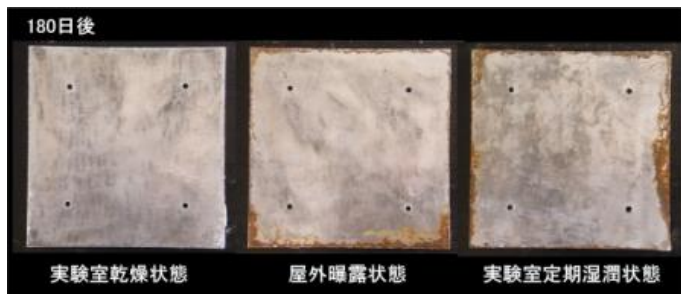


写真-2 界面の状態 (180 日後)

表-1 供試体各辺の錆の最大長さの平均値 (単位: mm)

曝露期間	実験室乾燥	屋外曝露	定期湿潤
90 日後	0.96	7.43	5.71
180 日後	5.10	11.93	10.18

本研究で作製した供試体では、コンクリートと鋼板のすき間に水が浸入し、すき間の酸素濃度がすき間の外部より低下し、すき間部がアノード、外部表面はカソードとなり、酸素濃淡電池を形成したようにも考えられる。すなわち、酸素濃度が低いすき間部に腐食が生じるすき間腐食の可能性もある。しかし、すき間以外の部分においても同様の腐食が発生していることから、すき間腐食ではなく、単に、界面に酸素と水が浸入した部分においてのみ腐食が発生したとも考えられる。

6. 水分検知実験

鋼板とコンクリートの界面の水の存在を確認するために、図-4 に示すように、界面とコンクリート内部の 2 箇所にリード線を埋め込んだ供試体を作製し、界面の電圧を計測する。

界面に水が存在しない場合、空気は絶縁体であるため、ほとんど電気を通さず、電圧は低くなる。一方、水には様々なイオンが溶け込んでいるので、水道水や雨水は電気を通す。したがって、電圧の値の変化によって、水の存在を確認できる。

コンクリートの水分が十分に蒸発した後、供試体を水に

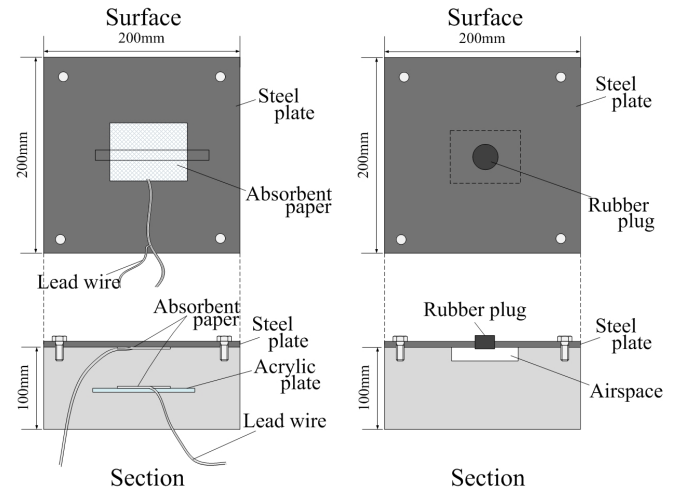


図-4 供試体図 (水分検知実験)

図-5 供試体図 (pH 値測定)

浸し、界面の電圧の変化をデータロガーを用いて計測して、界面に水が浸入するかどうかを調べる。

7. pH 値測定

界面に浸入した水の pH 値が低く (酸性) なるほど、錆が発生しやすい環境になると考えられる。そこで、図-5 に示すように、コンクリートに紙製の箱で空隙を作った供試体を作製し、界面に錆が発生しやすい状態かどうかを確認するため、界面の水を採取し、その水の pH 値を測定する。

供試体を水に浸し、空隙に浸入し滞水した水を鋼板の中央に開けた孔から取り出し、pH 測定器を用いて測定する。

8. おわりに

本研究では、鋼板とコンクリートの界面にすき間がない、一般的には腐食が発生しないと考えられている理想的な状態の供試体を作製し、それらを異なる環境に設置し、界面の錆の有無を確認した。すべての供試体において、鋼板の縁で錆が発生し、設置期間を延ばすと、それがさらに鋼板の中央に向かって進行することがわかった。

今後は、鋼板の中央に水が浸透するかどうかを確認する水分検知実験と界面の水の pH を測定する実験を行う。その結果については当日発表する予定である。

参考文献

- 1) 加藤光男：木曽川大橋が破断した理由 (維持管理時代への備え方)：日経コンストラクション，2007.7.
- 2) 山田健太郎：木曽川大橋の斜材の破断から見えるもの：土木学会誌，Vol.93，pp.29-30，2008.1.
- 3) 松村昌信，磯本良則，矢吹彰広：流れがもたらす材料劣化現象 エロージョン-コロージョン入門，日本興業出版，2005.3.
- 4) 増子昇：さびのおはなし：日本規格協会，1997.