

気になる鋼コンクリート接触面の腐食

Worrisome Interface Corrosion between Steel and Concrete

宇都宮大学大学院工学研究科
地球環境デザイン学専攻

Utsunomiya University, Graduate school of Engineering,
Design and Engineering for the Global Environment,
Professor

教授 工学博士

中島 章典

Akinori NAKAJIMA, D.Eng.



鋼コンクリート複合構造は、鋼材とコンクリートとを組合せ、両者の長所を活かし欠点を補った合理的な構造形式である。そのため、合成桁、鉄骨鉄筋コンクリート部材および合成柱など以前から使われていた複合構造に加えて、鋼板とコンクリート床版を一体化させた合成床版、波形鋼板ウェブを有する合成桁あるいは鋼桁と鉄筋コンクリート橋脚を直角に剛結させた複合ラーメン橋など、鋼コンクリート複合構造の適用例は拡大してきている。

しかし、2007年に国道23号木曽川大橋において、鋼トラス斜材が破断しているのが発見された。鋼部材を囲むように打設された床版コンクリートと鋼部材との接触面が激しく腐食したことが原因と言われている¹⁾。一般に、コンクリートと接触する鋼材はコンクリートの強アルカリ性に接していることから腐食しにくいと考えられていたが、この部分の鋼材とコンクリートの接触面は、雨水や酸素などが容易に浸入する腐食環境にあったようである。

このような鋼コンクリート複合構造では、鋼材とコンクリートの接触面は必ず存在するが、その接触面の付着状態は、鋼材とコンクリートの配置やコンクリートの打設状況の影響を受け、接触面には雨水や酸素などが浸入できる隙間が生じている場合もあると考えられる。もし、鋼材とコンクリートの接触面が容易に腐食するとすれば、複合構造において鋼材とコンクリートを一体化させる利点が失われることになる。したがって、鋼コンクリート接触面の腐食のメカニズムを明らかにし、適切な対策を立てることが必要とされている。

ここで、鋼コンクリート接触面の腐食の話をするために、以下で使用する用語を説明させていただく。図1は鋼材がコンクリートに埋め込まれて接触している状況を模擬的に表している。この図で鋼材がコンクリートに埋め込まれ、コンクリートに接触しているところを鋼材とコンクリートの接触面とする。そして、コンクリートに埋め込まれた鋼材が外面に出た鋼材だけになる境界のと

ころを鋼コンクリート接触面の境界部あるいは単に境界部と呼ぶこととする。一般には、鋼コンクリート接触面に隙間が存在すると境界部から腐食因子が侵入して鋼材の腐食を生じさせることになると考えられる。したがって、まず境界部に着目した検討が必要になる。

このような観点から、貝沼ら²⁾は鋼板の一部をコンクリートで囲んだモデル供試体を用いて、鋼コンクリート境界部における鋼部材の腐食挙動を促進試験から検討し、境界部鋼材の腐食挙動の評価、予測法を提案している。一方、小野ら³⁾は波形鋼板ウェブ橋の鋼板ウェブがコンクリート下床版に埋め込まれる部分を模擬した要素試験を行い、シーリング材の有無、鋼板とコンクリートの付着、鋼板の塗装が接合部の腐食耐久性に及ぼす影響を検討している。そして、境界部へのシーリング材設置や接触面内部における鋼材の塗装の有効性を確認している。また、春日井ら⁴⁾は、鋼コンクリート合成床版を模擬し、鋼材表面に防錆塗装を有する要素試験および梁試験を用いて、高温・高圧下における腐食促進試験を行った。試験体コンクリートには塩化物の影響を考慮す

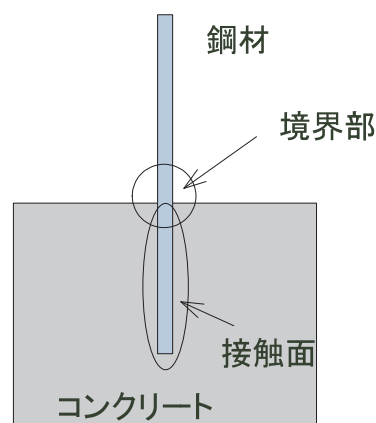


図1 鋼コンクリート接触面の状況

るため塩化ナトリウムを含ませている。高温・高圧の促進試験の結果から、一部の防錆塗装を施した試験体鋼材の発錆を確認しているが、ほとんどの試験体において防錆塗装の効果が確認されている。

ただし、これらの研究においても、鋼材とコンクリートの接触面の腐食のメカニズムは必ずしも明確に述べられていない。

上にも述べたようにコンクリートと接触する鋼材はコンクリートの pH12 程度の強アルカリ状態にあることから、鋼材の表面には不動態被膜が形成され、接触面の鋼材は腐食しにくいと考えられてきた。また、コンクリート打設前の鋼材表面には、一般に 1 次防錆塗装などが施されているため、万が一何らかの理由で鋼材とコンクリートの接触面に腐食因子が侵入したとしても、接触面の鋼材は腐食しないはずである。しかし、建設年次の比較的古い構造物では、コンクリートと接触する鋼材には 1 次防錆塗装などが施されなかった場合もあったのではないかと推測される。そのため、各所で鋼コンクリート接触面に腐食が発生している状況が散見され、また、場合によっては激しく腐食している箇所も見られる。

鋼材が腐食する場合、腐食環境にある鋼材の広い領域が全面的にほぼ一様に腐食するミクロセル腐食と局所的な部分が周辺部よりも激しく腐食するマクロセル腐食がある。鋼コンクリート接触面の腐食の原因についてはいくつかの説があり、1つの考え方では、鋼コンクリート接触面の境界部あるいはそれより内部の接触面の鋼材の位置では、コンクリートと接していない部分の鋼材の位

置よりも酸素濃度が低く、上記のマクロセル腐食によって鋼コンクリート接触面が腐食されている場合がある。ただし、この見解に対しての確証は得られていないように思われる。

そこで筆者ら⁵⁾は、鋼コンクリート接触面の腐食の発生、進展を確認するために図2のような単純な要素試験体を用いて通常の屋外環境で暴露試験を行った。この要素試験体の作製に際しては、下に敷いた鋼板上にコンクリートを打設していることから鋼板とコンクリートの接触面は十分な付着を有していたが、図3に示すように

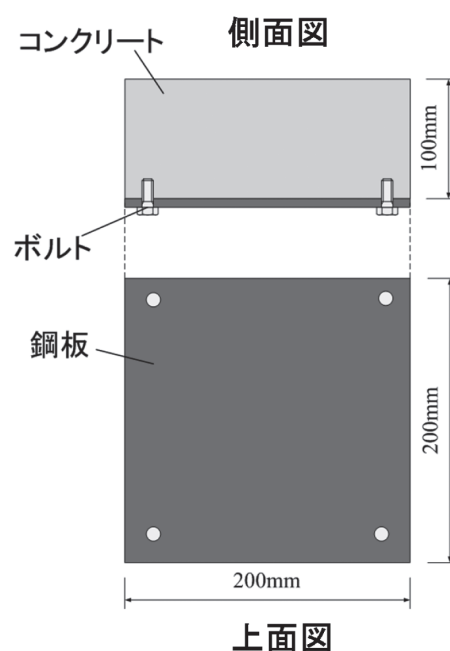


図2 鋼コンクリート接触面の要素試験体

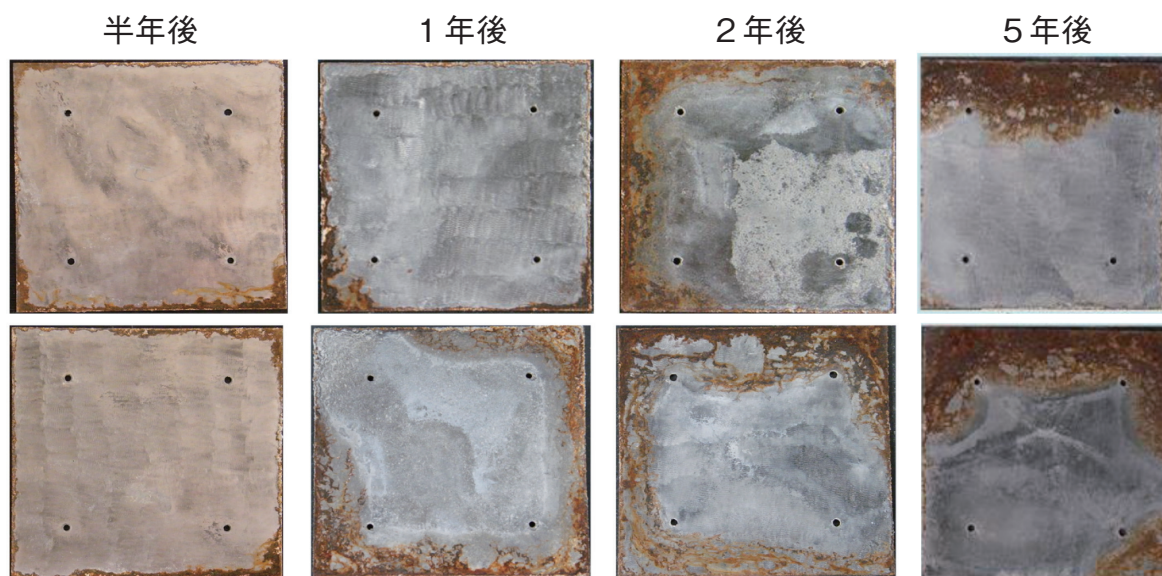


図3 暴露試験によるコンクリート接触面の鋼材の腐食状況

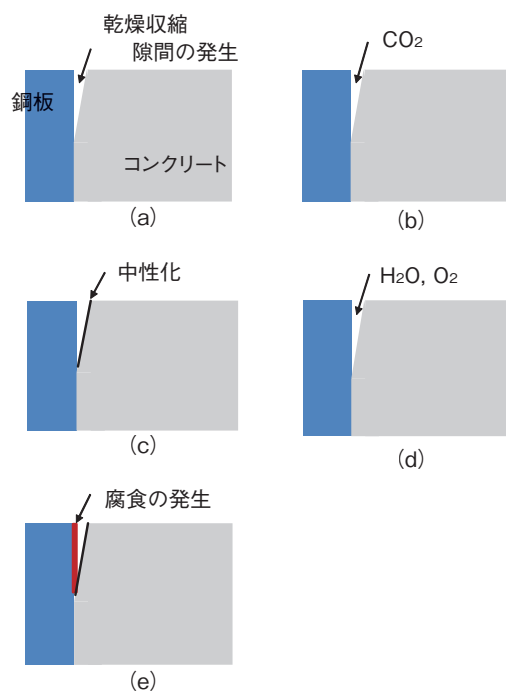


図4 鋼コンクリート接触面の腐食の発生メカニズム

暴露期間が長くなるにつれて鋼板の端部の腐食範囲が広がっていくことがわかる。この場合、鋼板表面には塗装は施しておらず黒皮もグラインダにより除去していた。十分な暴露期間ではないが鋼板とコンクリートが良好な付着を有している場合においても、接触面の端部が腐食することが改めて確認された。

この腐食のメカニズムは図4のように考えている。つまり、鋼コンクリート接触面の境界部では、鋼材に接触しているコンクリートも乾燥などのために収縮し、鋼板の周辺コンクリートが鋼板から剥がれることが考えられる。そのため、鋼コンクリート接触面の境界部付近において鋼材とコンクリートの間に僅かな隙間が生じる。僅かであっても隙間が生じるとその部分に二酸化炭素が侵入して接触面のコンクリートが中性化する。鋼材に接触していたコンクリートが中性化すると強アルカリ性に守られていた鋼材表面の不動態被膜が失われる。そうすると、隙間には腐食因子としての水および酸素が侵入して接触面の鋼材が腐食する。

このような鋼コンクリート接触面の腐食のメカニズムを説明する1つの根拠として、図5のような結果がある。図5は上記の暴露試験と同様の要素試験体を湿度が異なる環境に暴露した場合の接触面のコンクリートの中性化状況を示したものである。設置した環境の湿度は40、

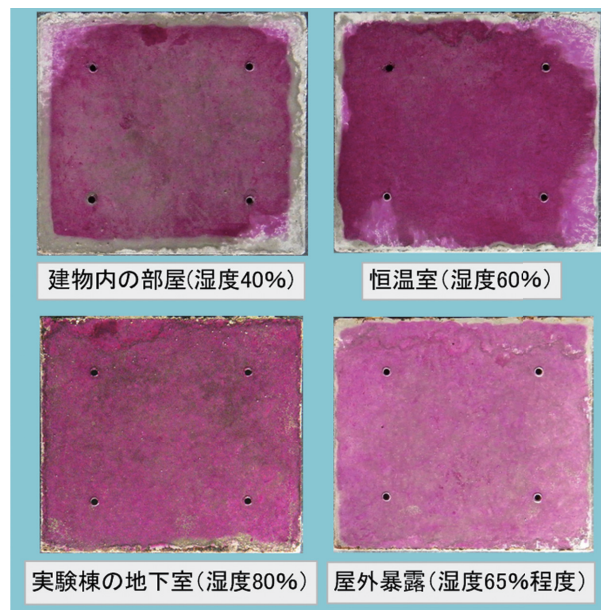


図5 鋼コンクリート接触面のコンクリートの中性化に及ぼす湿度の影響

60、80%程度であり、暴露期間80日後に接触面を剥がしてすぐに、接触面のコンクリートにフェノールフタレイン液を塗布した状況である。この図から、湿度の低い環境に置いた試験体ほど接触面コンクリートの中性化範囲（図中の断面外周の赤い色がついていない部分）が広がっていることがわかる。つまり、乾燥状態にある試験体ほど鋼コンクリート接触面の境界部から内部に向かって隙間が生じ、二酸化炭素が侵入して接触面のコンクリートが中性化したことを表していると考えられる。このような知見を参考文献⁵⁾などに発表しているが、まだ、皆さんに認知されていないかもしれない。実際に周辺コンクリートの乾燥収縮に伴って生じる接触面の隙間の大きさを計測して示したいと考えている。

新設構造物において、鋼コンクリート接触面の腐食を防止するためには、少なくとも、コンクリートが埋め込まれる鋼材にも防錆塗装を施すことが必要であろう。鋼材表面に防錆塗装を施すことによって鋼材とコンクリートの付着が低下するという見解もあるが、鋼材とコンクリートの付着を確保したいのであればやはり接触面に機械的ずれ止めなどを配置するのが妥当である。付着が低下するために塗装をしないことによって接触面が腐食してしまっただけは何もならないと考える。

さらに、接触面の腐食を防止するためには、よく知ら

れていることではあるが、接触面の境界部にシーリング材を設置することによって、境界部付近の接触面に隙間が生じたとしても腐食因子の侵入を防ぐことができる。ただし、シーリング材は紫外線などにより経年劣化することが懸念されるためシーリング材自身の点検や劣化した場合の取替えが必要とされる。現在、一般に鋼コンクリート接触面の鋼材への防錆塗装や境界部へのシーリング材の設置は行われており問題ないと思われる。

なお、筆者も75 μ m厚の無機ジンクリッチペイントを鋼板表面に施した図2と同様の要素試験体の暴露試験を行い、暴露期間2年では接触面のコンクリートは中性化しても接触面の鋼材には何も問題がないことを確認している。また、同様に暴露期間2年程度ではあるがシーリング材の効果も確認している。

一方、鋼柱脚などの既設構造物において、写真1のように鋼コンクリート接触面の境界部の塗膜が剥がれてその部分の鋼材が腐食している状況が散見される。このような部分の腐食の原因は今のところ筆者にはよくわかっていない。埋め込まれている接触面の鋼材に塗装が施されていないために、接触面境界部に腐食が発生し、その腐食が塗膜を剥がしてしまったとも考えられる。あるいは、埋め込み部の鋼材に塗装は施していたが、その塗装に何らかの問題があったとも考えられる。鋼コンクリート接触面の内部の十分な深さまで外部と同様の規格で塗装を行えば、このような腐食は防止できるのかもしれない。いずれにしても、鋼柱脚の基部などにおいて腐食が発生する原因を明らかにすることが望まれる。

最近、非破壊検査技術を用いてコンクリートに囲まれた鋼材の腐食の程度を調べる方法の開発も行われている。このような実用性のある非破壊検査技術が開発され

れば、コンクリートをはつることなく接触面の鋼材の腐食の程度を判断でき、対策を立てることが可能になるものと期待される。

冒頭にも述べたように、鋼コンクリート複合構造は種々の利点を有しているが、鋼コンクリート接触面の腐食を防ぐができなければ、その利点が失われることになるため、鋼コンクリート接触面の腐食発生の原因究明とその有効な対策が必要であると考えている。

参考文献

- 1) 山田健太郎：木曾川大橋の斜材の破断から見えるもの：土木学会誌，Vol.93，No.1，2008.
- 2) 貝沼重信，細見直史，金仁泰，伊藤義人：鋼構造物材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究，土木学会論文集，No.780/I-70，pp.97-114，2005.
- 3) 小野聖久，大城壮司，桜田道博，大浦隆：波形鋼板ウェブ橋における埋込み接合部の耐久性の検討，コンクリート工学，テクニカルレポート，Vol.44，No.8，pp.23-29，2006.
- 4) 春日井俊博，入部孝夫，竹下永造，三浦尚：鋼・コンクリート合成床版の鋼材防食に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.1109-1114，2010.
- 5) 中島章典，倉持弥奈，出川佑莉，磯光夫：鋼コンクリート接触面の腐食の発生・進展に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.58A，pp.889-896，2012.



写真1 鋼柱基部の塗膜の剥離と腐食状況