

## 腐食した鋼材に対するプロピオン酸ナトリウムの腐食速度低減効果に関する検討

株式会社 興栄コンサルタント 正会員 ○畑佐 陽祐 岐阜大学 正会員 木下 幸治  
岐阜大学 学生会員 蓮池 里菜 岐阜大学 学生会員 矢野 義知

### 1. 背景・目的

従来我が国では、冬季の道路凍結防止のために、例えば塩化ナトリウム（以下、塩ナト）等の塩化物系凍結防止剤が多く散布されており、それらを含む漏水による橋梁の鋼材腐食の事例が数多く報告されている。橋梁点検の結果をみても、凍結防止剤散布量が多いほど健全度が悪くなっていることは明らかである。それらの損傷を防止するために、新たな非塩化物系凍結防止剤として、プロピオン酸ナトリウム（以下、プロナト）の開発が進んでいる<sup>2等</sup>。このような新しい非塩化物系凍結防止剤の鋼材腐食速度低減効果に関しては、これまでに裸鋼材を試験体とした腐食試験が行われていた。一方で、実際の道路への適用を考えると、既に腐食が進行した構造物に凍結防止剤を含む水が付着する事も考えられるため、それらに対する検討が必要であると考えた。そこで本研究では、あらかじめさびを生成した試験体に対し、プロナトを用いた浸漬曝露繰返し試験を実施し、プロナトによる腐食速度低減効果の検討を行った。なお本研究は、既に鋼構造年次論文集<sup>3</sup>に投稿済の試験を継続して行っているものである。

### 2. 試験概要

腐食試験は、試験体を濃度3%の塩ナト水溶液もしくはプロナト水溶液へ1分間浸漬し、気中に1日曝露するというサイクルを繰返すことで行った。本研究ではこの試験方法を浸漬曝露繰返し試験とした。暴露環境による腐食進行の違いを検討するために、試験の時期によって暴露環境を変化させた。試験前半では、室内に設置した棚内を、塩ナトの吸湿臨界湿度である相対湿度74%以上<sup>4</sup>の高湿度下で曝露した。試験後半では、恒温室内に棚を移設し、湿度75%以上、気温40度程度で曝露した。試験体は、60mm×60mm×2.3mmのSS400材の黒皮をサンドブラストによって除去して作成した試験体を、塩ナトへの浸漬曝露繰返し試験によってさびを生成させた試験体とした。約4ヵ月間浸漬曝露繰返しを与え、表面状態に大きな変化が現れなくなった時点でさび生成を完了して試験に供した。試験体数は、1溶液に対して各3体とした。

腐食速度の評価において、既往の研究では腐食減少

量<sup>2</sup>や、さび厚を用いている場合が多く見られる<sup>5</sup>。しかし、本研究の予備試験を行った際に、腐食減少量は母材の溶解によって正確な測定が難しい事、酸洗いが必要となるため経時的な変化の評価ができない事、さび厚はばらつきが大きく評価が困難である事が課題となった。そこで本研究では、さびを含む試験体の質量増加量を主な指標として、腐食速度を評価した。質量計測は、1日の暴露後、溶液への浸漬を行う前に測定しているが、さび層中に水分が含まれれば、計測値に影響を及ぼすと考えた。そこで、計測途中で乾湿繰返しを中断して乾燥させ、さび層中に含まれる水分量を測定した。また、溶液への浸漬時にさびが溶液中に落下するため、溶液内に残ったさびの質量計測も行った。さらに、質量増加量のみでは生成されたさびの性質を把握できないため、フーリエ変換赤外分光法（以下、FT-IR）によるさび組成分析を行った。

### 3. 試験結果

図-1に試験体の質量増加量を示す。試験前半に着目すると、試験体の質量は、塩ナト試験体、プロナト試験体ともに増加傾向にある。プロナト試験体の質量増加量は、塩ナト試験体の5~8割程度であり、プロナトへの浸漬により、腐食が抑制されている事が分かる。試験日数100日程度以降は、プロナト試験体の質量増加量は、塩ナト試験体の5割程度でほぼ一定となった。

さび層中にどの程度の水分が含まれているかを測定するため、307日経過時点から32日間は浸漬曝露サイクルを中止し、乾燥時の質量を計測した。その際の計測結果および、乾燥期間終了後に通常のサイクルに戻した際に計測した値（表乾状態）を表-1に示す。塩ナトでは、質量増加量の3~6%程度が水分であるが、プロナトでは33%が水分となっている。これより、プロナトへの浸漬によって、塩ナトで生成されたさびの組成が変化し、空隙が多く、水を含みやすい状態になっていると考える。また、この乾燥時の質量で比較すると、プロナト試験体の質量増加量は塩ナト試験体の4割程度である。

その後試験を再開し、359日目に試験体を恒温槽内に移動し、高温下での曝露を開始した。高温下になった

キーワード：腐食、FT-IR、凍結防止剤、プロピオン酸ナトリウム

連絡先：〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶴4丁目11番地 株式会社興栄コンサルタント TEL058-274-2697

ことにより、塩ナト試験体では腐食が大きく促進されている。これは、腐食を化学反応の面から考えた際に、気温が上がると化学反応速度が上がるという一般的な関係を考慮すると妥当なものとする。一方でプロナト試験体では、さびの落下等によるものと思われる質量の低下が生じている。これより、塩ナトとプロナトとは、起こっている化学反応が大きく異なることが分かる。433 日目にプロナト試験体の質量計測の際に、片側のさびが全面的にはく離した。鋼材のはく離面には、地鉄が露出しているらしき部分も存在していることから、浸漬したプロナトが、鋼材界面まで到達し、何らかの影響を及ぼしていると考えられる。これは、プロナトが鋼材界面での腐食を抑制し、鋼材とさびとの付着を消失させる役割を果たしていると推測している。このメカニズムについては今後検討を進める。

試験体を溶液に浸漬した際に、さびの一部が溶液内に落下しているため、その質量を計測した。表-2 に、試験終盤 116 回の繰り返しを行った際に使用した溶液をろ過して計測した質量を、試験体枚数で除した値を示す。プロナトでは、塩ナトの 78% 程度の質量となっており、溶液内に落下しているさびの量もプロナトの方が少ないことが分かる。

さびの硬さに着目すると、試験開始時は硬いさびが生成されていたが、プロナトへの浸漬を繰り返すことで、さびは次第に脆くなっていく傾向にあった。図-2 に試験体表面の拡大写真を示す。塩ナト試験体よりも、プロナト試験体の方が表面の凹凸が大きい事がわかる。したがって、プロナトへの浸漬により、脆く、空隙の多いさびに変化していると言える。

FT-IR によるプロナト試験体のさびの組成分析結果の一例を図-3 に示す。プロナト試験体のさびの主な組成は  $\alpha$  FeOOH,  $\beta$  FeOOH,  $Fe_3O_4$  であり、塩化物環境下で生成する  $\beta$  FeOOH は、今回測定した 7 箇所ではいずれの測定箇所でも検出されなかった。したがって、プロナトに浸漬を繰り返すことにより、試験前に塩ナトへの浸漬暴露で生成された  $\beta$  FeOOH が別の組成に変化していると考えられる。

<参考文献>

- 1)国土交通省 道路局:道路メンテナンス年報(平成 28 年度), p47, 2017.8. , 2)佐藤賢治, 藤本明宏, 切石亮, 徳永ロベルト, 高橋尚人, 中島範行:新たな非塩化物系凍結防止剤の開発に関する研究, 北海道の雪氷, No.34, pp.119-122, 2015.9. , 3)蓮池里菜, 木下幸治, 畑佐陽祐: FT-IR を用いた非塩化物系凍結防止剤による腐食速度低減効果の検討, 鋼構造年次論文報告集, vol.25, pp.704-707, 2017.11. , 4)三木千壽, 市川篤司:現代の橋

梁工学, 数理工学社, pp.44-54, 2004.12., 5)岩崎英治, 永藤壽宮, 湯浅昭, 西剛広:凍結防止剤の飛散と鋼橋の腐食, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.655-667, 2012.3.

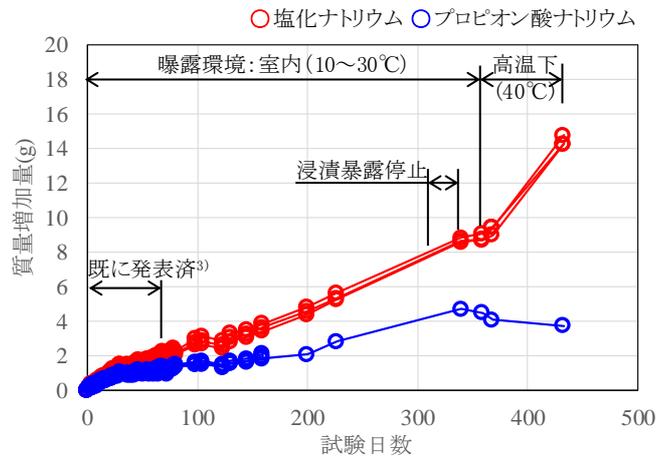


図-1 試験体の質量増加量

表-1 乾燥時・表乾時の質量および水分量(g)

	乾燥	表乾	水分量
塩ナト1	8.544	8.824	0.280 (3%)
塩ナト2	8.100	8.652	0.552 (6%)
塩ナト3	8.077	8.573	0.496 (6%)
プロナト	3.171	4.710	1.539 (33%)

表-2 溶液に残ったさびの質量(g/試験体)

塩ナト	1.387
プロナト	1.075

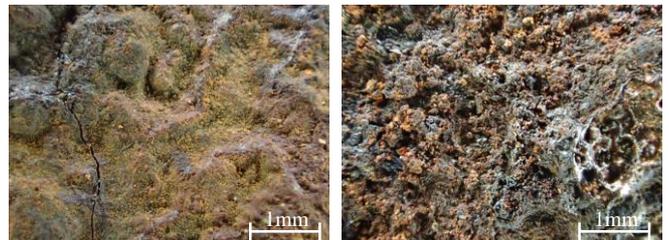


図-2 試験体の拡大写真

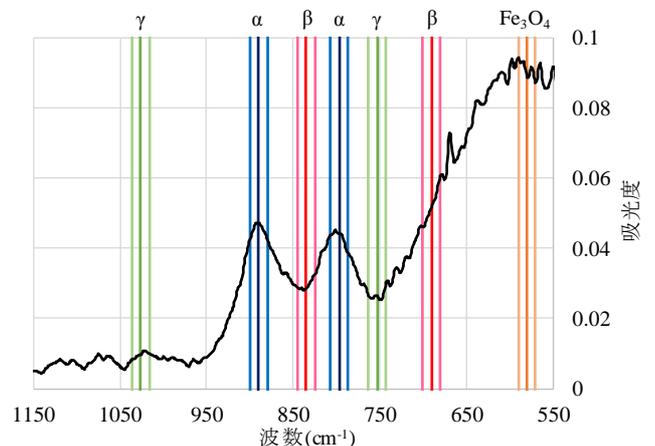


図-3 FT-IR の結果