



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	寒冷地における炭素鋼の大気腐食反応に関する研究
Author(s)	野村, 耕作
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第17023号
Issue Date	2026-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k17023
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/100076
Type	doctoral thesis
File Information	NOMURA_Kosaku_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 野村 耕作

学 位 論 文 題 名

寒冷地における炭素鋼の大気腐食反応に関する研究

屋外環境に曝露された鉄鋼材料は、その表面に結露、降雨および飛来海塩など様々な因子により塩水溶液の薄膜が形成することで腐食する。この大気腐食の速度は、年平均気温の低下により小さくなることが予想されるが、冬季に降雪や凍結が起こる寒冷地であっても亜熱帯に匹敵する腐食速度を示す事象が報告されている。大気腐食の反応場となる塩水溶液／鋼材界面の構造とともに腐食生成物の物理化学特性と大気腐食の反応機構および反応速度の精緻な理解は、屋外で使用される鋼構造物を設計開発・施工、維持管理・交換する上で極めて重要な基礎的知見であり、数理モデル化によるシミュレーションの高精度化が求められている。しかし、日々の曝露中、塩水溶液／鋼材の界面構造と腐食生成物の物理化学特性は多種の因子により不規則に変動するため、特に大気腐食の反応速度を高い精度で説明することは実現されていない。そこで本研究は、低温かつ濃厚な塩水溶液における炭素鋼の大気腐食反応を支配する物理化学的因子を体系的に整理および定量化し、寒冷地に特有な炭素鋼の大気腐食も説明可能な大気腐食反応の数理モデルを構築することを目的として実施した。

第1章では、本研究の背景および従来の知見を紹介した後、本研究で用いた主となる物理化学測定の基本原則や適用事例を説明した。その上で、本論文の研究目的を提示した。

第2章では、自動車用構造物材利用を目指して開発されているマルチマテリアル（異種金属接合部モデル材）の寒冷地冬季路面の大気腐食環境を模擬した乾湿繰り返し試験および寒冷地における屋外曝露試験を実施した。異種金属接合部に形成したガルバニック腐食生成物の膜電位測定および組成分析から、組み合わせ試料の隙間に形成した腐食生成物がアニオン選択性を示すこと、その固定電荷濃度が亜鉛めっきハイテン鋼を用いた組み合わせ試料で最大となることを示した。各組み合わせ試料の隙間に形成した腐食生成物はその試料成分由来の金属酸化物および水酸化物の混合物であり、腐食生成物のイオン選択性は化合物の組成比により決まることを見出し、異種金属のガルバニック腐食生成物は腐食抑制効果に乏しいことを明示した。

第3章では、 $-15\sim 25^{\circ}\text{C}$ におけるNaCl水溶液液滴に接触した炭素鋼の大気腐食速度について、温度、水溶液塩濃度および濡れ性などの影響を検討した。水溶液に溶存する酸素の濃度は低温においても塩濃度の低下により増加したが、拡散係数は温度の低下により増大した。高濃度による凝固点降下のため 0°C 以下でも凍結しないNaCl水滴と接触する炭素鋼の腐食反応は溶存酸素の還元反応に支配される一方、温度低下により炭素鋼に接触する液滴の濡れ性は増大した。すなわち、接触面積（腐食反応面積）が増加するとともに液滴の高さ（溶存酸素拡散層厚）が減少するため、溶存酸素反応が促進するため、温度低下に逆らって腐食速度は増加することを明らかにした。

第4章では、北海道日本海沿岸の2地点における炭素鋼の屋外曝露試験を実施した。得られた数種の大気腐食速度データ、腐食生成物の組成解析結果、曝露地の気象データ（温度、相対湿度および飛来塩分量など）に基づき、寒冷地における炭素鋼大気腐食の数理モデル化を検討した。寒冷地特有の気象条件（低温の冬季に増加する飛来塩分量）を網羅した炭素鋼の大気腐食速度は、水溶液膜厚の $1/4$ 乗で表されることを見出し、モデル式を提案した。モデル式に月平均、年平均などの気象データを当てはめて算出した腐食速度は実測値とおおよそ一致したことから、提案したモデル式が寒冷地を含む屋外環境での炭素鋼大気腐食の速度導出に有効であることを説明した。

第5章では、上述の検討および考察から得られた知見を取りまとめ、本論文を総括した。

本研究は要するに、 0°C 以下でも凍結しない高濃度の塩化物水溶液における溶存酸素データ、相対湿度や飛来塩分量などの環境データ、実験室および屋外曝露場での腐食試験結果などから、寒冷地における炭素鋼など構造物材の大気腐食の反応機構および反応速度を検討し、炭素鋼の大気腐食反応速度を大まかに説明するモデル式を提案した。本研究で得られた大気腐食数理モデルは、鋼構造物の設計開発・施工や維持管理・交換を行う上で重要な指針を与える。また新規考案した腐食生成物の膜電位測定法あるいは実測した 0°C 以下での塩化物水溶液における溶存酸素データは、金属腐食解析のみならず生物学や地球環境学、工学全般の様々な分野に対して新しい発見や従来知見の深化および発展に寄与するものである。