

土壌腐食機構と土壌腐食性評価

Soil Corrosion Mechanism and Soil Corrosivity Evaluation

西方 篤 Atsushi Nishikata

東京工業大学 名誉教授

し はじめに

我が国においては高度成長期以降に建設された鋼構造物や コンクリート構造物の老朽化が大きな問題となっている。こ れらの構造物は土壌環境に曝されているため、土壌腐食機構 を解明することが防食設計をする上で重要となる。また、建 材を海外展開するためには、土壌の腐食性は国により異なる 可能性があり、対象となる国の土壌で長期間暴露試験を実施 する必要がある。そのような状況の中で企業側のニーズによ り、「鉄鋼材料の土壌腐食機構の解明」研究会(2016~2018年) そして「鉄鋼材料の土壌腐食性評価」研究会(2019・2020年) が立ち上がり、鋼材の土壌腐食について研究を実施してき た。本研究会には、異なる研究分野(土壌、微生物、腐食)の 大学の3研究室が参加し、それぞれの専門の立場から土壌腐 食の研究を進め、研究会の中で議論を重ねてきた。本稿では、 その成果に基づき「土壌腐食機構」と「土壌腐食性評価」につ いて解説する。

土壌は、土粒子間が水のみで満たされている飽和土壌(含 水率=100%)、空気と水が混在する不飽和土壌(0%<含水 率<100%)、そして空気のみが存在する乾燥土壌(含水率= 0%)にわけられる。一般に、地下水以深は飽和土壌、地下水 以浅は不飽和土壌である。また、地表付近の土壌は、天候(晴 天/降雨)により飽和/不飽和を繰り返す。飽和土壌と不飽 和土壌では鋼材の腐食機構が異なるため、本稿では飽和土壌 と不飽和土壌に分けてその腐食機構を解説する。本研究会で は現象を単純化するため、鋼構造物の地際における通気差腐 食や地下水レベル付近での飽和土壌/不飽和土壌間のマクロ セル腐食などは研究対象から除外した。

(2) 土壌腐食速度の計測

土壌腐食の評価には電気化学インピーダンス (EIS) 法を 用いた。土壌中でのEIS測定用セルの模式図を図1に示す。 二枚の炭素鋼板 (SM490A, 5×10 mm)をエポキシ樹脂に埋 め込み電極としている。EIS法は高周波数から低周波周波数 の広い周波数範囲の微小交流電圧を電極/土壌界面に印加す ることにより、その界面の電荷移動抵抗 (R_{ct})を決定する方 法である。腐食速度を表す腐食電流密度 (i_{corr}) は、 R_{ct} の逆数 に比例することが、水溶液中での腐食に関して報告されてい る^{1,2}。

ここでkは比例定数で、炭素鋼では約0.20 Vの値をとること



図1 土壌中での電気化学インピーダンス測定用セルの模式図 (Online version in color.) が実験的に示されている³⁾。土壌系でもこの式が成立し、k値 も同じ値が使えることを本研究会で確認している。従って、 EIS法により R_{ct} を連続的に計測することにより腐食速度の 経時変化をモニタリングすることができる。ファラデーの法 則により、 i_{corr} から鋼材の腐食質量減あるいは減肉厚さを計 算することができる。EIS法に関しての詳細は他を参照され たい^{4,5)}。

⟨3⟩ 飽和土壌における腐食機構⁶⁾

図2は採取した土壌と鉱物試料中での炭素鋼の腐食減肉厚 さを約1年間測定した結果である。飽和になるまで脱イオン水 を加えた飽和土壌で腐食試験を行っている。また、ここでは試



図2 土壌および鉱物試料に埋没した炭素鋼の平均腐食肉厚減少量

験前後の腐食質量減から腐食減肉厚さを求めている。黒ボク 土が最も腐食性が高く、1年間の腐食減肉厚さは約16 μmで あり、腐食速度は時間とともに減少していることがわかる。 その他の土壌と鉱物試料では、暗赤色土とモンモリロナイト の腐食性が少し低いが、大きな差異は無い。使用した土壌と 鉱物試料の理化学性を表1に示す。腐食速度の大きな黒ボク 土は低pHで、小さい暗赤色土とモンモリロナイトは高pHで あるが、黒ボク土よりさらにpHの低い赤色土やカオリナイ トの腐食速度はかなり小さいことから、土壌の種類による腐 食速度の違いをpHだけで説明することはできない。実土壌 や鉱物試料では多くの土壌因子が同時に変化する。そこで現 象を単純化するため、珪砂を模擬土壌として使用し、土壌の 粒径、かぶり厚さ、pHの影響について調べた。

図3は3% NaCl水溶液で飽和した珪砂模擬土壌中におけるEIS法により測定した炭素鋼の R_{c1}^{-1} と式(1)により計算した腐食速度 i_{corr} である。上図は粒径依存、下図はかぶり厚さ依存を調べたものである。珪砂の粒径を1~1000 μ mまで3桁変化させても腐食速度は1~2 μ A·cm⁻²の範囲にあり、粒径にはほとんど依存しないと言える。また、下図からかぶり厚さにも依存しないことがわかる。ここで1 μ A·cm⁻²の腐食電流密度は1mm/100年の肉厚減少速度に相当する。加えた間隙水は海水と同濃度の3% NaCl水溶液であるが、飽和土壌中では海水中より1桁以上小さい腐食速度をとることから、中性の飽和土壌の腐食性は極めて低いと言える。

中性土壌中での腐食反応は次のアノード反応(2)とカソー ド反応(3)の組み合わせにより進行する。

| 試料名 | pН | 電気 全炭素 全窒素 H 伝導率 (g/kg) (g/kg) (dS/m) | | 有効陽イオン 交換容量 (cmol ₀ /kg) | 非晶質 酸化鉄 (g/kg) | 遊離 酸化鉄 (g/kg) | 粘土 含量 (%) | |
|--------------|------|---|------------|---|----------------------|---------------------|-----------------|----|
| 土壤試料 | | | | | | | | ¢ |
| 赤色土 | 4.8 | 0.02 | 8 | 0.5 | 1.2 | 4 | 105 | 66 |
| 黒ボク土 | 4.9 | 1.16 | 143 | 10.7 | 19.7 | 28 | 21 | 17 |
| 灰色低地土 | 5.4 | 0.51 | 26 | 2.6 | 19.6 | 9 | 13 | 35 |
| 暗赤色土 | 8.0 | 0.13 | 21 | 1.3 | 14.1 | 5 | 74 | 49 |
| 鉱物試料 | | | | | | | | |
| カオリナイト | 3.4 | | - | 93 - 3 | 1.5 | - | | - |
| シリカ | 7.0 | <u>2</u> - | <u>₩</u> | 822 | 0 | <u>-</u> | <u> -</u> | - |
| モンモリロ ナイト | 10.4 | ž. | <u>∎</u> ę | 3 2 3 | 99.0 | ×. | 5 | - |



図3 珪砂模擬土壌(飽和)中における炭素鋼の電荷移動抵抗*R*_{ct}⁻¹と 腐食電流*i*_{corr}の経時変化。上図:土壌粒径の影響、下図:土壌か ぶり厚さの影響⁶⁾ (Online version in color.)

 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ (3)

飽和土壌中での小さな腐食速度は、土壌中に自然対流が存在 しないため、土壌を通して酸素の供給(拡散)が遅くなるこ とによる。すなわち、腐食初期では、腐食反応により炭素鋼 /土壌界面での酸素が消費され、酸素の拡散層が土壌沖合に 向かって成長し、結果として腐食速度は減少する。ただし、 定常状態での腐食速度がかぶり厚さに依存しないことから、 酸素拡散層は土壌/空気界面までは成長しないと考えられ る。定常状態では錆層上での酸素の還元反応(電荷移動過程) が抑制されるため、その電荷移動過程が律速すると考えられ る。詳細については文献6)で報告しているので、それを参照 されたい。

図4は上図がpHの異なる3% NaCl水溶液(非緩衝性)で 飽和した珪砂中での腐食速度の経時変化である。初期過程 ではpH3がやや大きな腐食速度を示すが、15日後にはすべ て同じ腐食速度となる。下図はpH3と6の緩衝溶液と非緩衝 溶液で飽和したときの腐食速度である。緩衝溶液の腐食速度 は、初期数日間は大きな値を示す。しかしながら、最終的に はすべて同じ腐食速度まで減少する。酸性土壌中では、式(3) の酸素の還元反応に加え、式(4)の反応によりH⁺も腐食の 酸化剤となる。



図4 珪砂模擬土壌(飽和)中における炭素鋼の電荷移動抵抗R_{ct}-1と 腐食電流*i*_{con}の経時変化。上図:pHの影響(非緩衝溶液)、下図: pH緩衝性の影響⁶⁾(Online version in color.)

非緩衝溶液では、O₂と同様に、炭素鋼/土壌界面でのH⁺も 腐食反応により消費され、炭素鋼表面は中性化し、式(4)の 反応はH⁺の沖合からの拡散律速となるため腐食促進は著し く減少する。一方、緩衝溶液では炭素鋼/土壌界面のpHは 低pHに維持されるため腐食は促進され続ける。ただし、土 壌中では対流により炭素鋼表面へのリン酸塩の供給が無いた め、その緩衝能は次第に低下する。従って、酸性土壌の場合 も同様に、炭素鋼の腐食は初期過程においてH⁺により促進 されるが、炭素鋼/土壌界面にある土の緩衝能は腐食反応に より次第に失われるものと思われる。H⁺による腐食促進が 持続する期間は土壌のもつpH緩衝能に依存する。

飽和土壌中での腐食機構を纏めると、間隙水(地下水)の 動きが十分遅い飽和土壌の場合、酸化剤(O_2 , H⁺等)の供給 は極めて遅く、加えて、生成する錆による酸素還元の抑制効 果により、腐食速度は15日間の腐食試験で約1 μ A·cm⁻²(減 耗量:1mm/100年)まで低下する。長期的にはさらに下が ることが予想されることから、"100年で1 mmの腐食しろ" は妥当であると言える。ただし、酸性土壌の場合には、H⁺に より腐食が促進されるが、その促進の継続期間は土壌のもつ pH緩衝能に依存する。



不飽和土壌では、土粒子の間隙に空気が存在し、その間隙 空気が酸素の供給通路となるため飽和土壌に比べて大きな腐 食速度となる可能性がある。従って、腐食速度と含水率の関 係を明らかにすることが重要である。土粒子の間隙に存在す る水(間隙水)と空気(間隙空気)の割合は「含水率(%)」で 表され、その定義は次式で表される。

含水率(%) = (間隙水の全体積/全間隙体積) ×100 ······· (5)

図5は異なる含水率の珪砂中での炭素鋼の平均腐食速度 (不飽和土壌では不均一な腐食形態をとるため平均腐食速度 と呼ぶ)の経時変化である。粒径100 μmの珪砂を用い、土壌 のかぶり厚さは10 mmである。この結果からも明らかなよう に、飽和土壌(含水率100%)の腐食速度に比べ、不飽和土壌 の平均腐食速度が著しく大きいことがわかる。8日目の平均腐 食速度を含水率に対してプロットしたのが図6である。図中 のN値は測定回数を表す。含水率90%で最大値を示すことが







わかる。腐食電位は含水量の増加とともにより貴な電位をと ることから(図7)、飽和土壌から含水率を減少させていくと、 炭素鋼の腐食速度は式(3)の酸素の還元反応が促進されるこ とにより増加し、含水率90%付近で最大となり、さらに含水 率を減少させると式(2)の鉄のアノード溶解反応が抑制され ることにより平均腐食速度が減少すると考えられる。図8は 含水率の異なる珪砂中での炭素鋼のアノードとカソード分極 曲線である。含水率の減少とともに、土壌中の間隙空気が増 え酸素の拡散通路が増えるため酸素還元反応は促進され、一 方、炭素鋼/土壌界面での間隙水が減少するため鉄のアノー ド溶解反応は抑制されることが分極挙動からも確認される。

図9は15日間の腐食試験後の炭素鋼の腐食形態である。こ



図7 異なる含水率の珪砂模擬土壌中における炭素鋼の腐食電位の経 時変化⁷⁾ (Online version in color.)



図8 異なる含水量の珪砂模擬土壌中における炭素鋼の分極曲線⁷⁾ (Online version in color.)

れらは除錆後の写真である。含水率100%(飽和土壌)では 全表面で均一に腐食が起きているのに対し、90%, 30%の不



<u>3 mm</u>

図9 異なる含水率の珪砂模擬土壌中に埋没後の炭素鋼の腐食形態 (Online version in color.)



図10 最大浸食深さと腐食面積と含水率の関係⁷⁾ (Online version in color.)

飽和土壌では腐食が進行している部分 (黒色) と健全部 (灰 色) にわかれ、腐食は不均一であることがわかる。これは腐 食部で式(2)の鉄のアノード溶解反応が進行し、健全部で式 (3)の酸素の還元反応が進行したためである。全表面の浸食 深さをレーザー変位計により測定し、最大浸食深さと腐食部 面積を含水率に対してプロットしたのが図10である。含水 率が減少するにつれて、腐食部の面積は減少し、含水率80% 以下で5%以下であった。一方、含水率70~90%の範囲で最 大浸食深さは150~350 µm/15 dayと大きな値を示した。図 11はEIS法により求めた平均腐食速度*i*corrと腐食部(アノー ド部)の平均腐食速度 i_{corr} (a) である。前者は測定された R_{ct}^{-1} を全表面積で除した全電極表面の平均腐食速度、後者は腐食 部面積で除した腐食部の平均腐食速度である。両者の含水率 依存性は類似しているが、icorr(a)が一桁大きいことがわか る。不均一腐食を評価するためには、全面の平均腐食速度で はなく、腐食部の平均腐食速度あるいは最大浸食深さを用い



図11 平均腐食電流密度iと含水率の関係。 i_{corr}:全表面当の平均腐食速度 i_{corr(a)}:腐食部の平均腐食速度⁷⁾



図12 不飽和土壌中における腐食機構⁷⁾ (Online version in color.)

731

るべきであり、飽和土壌に比べて不飽和土壌では極めて大き な浸食速度となる。

不飽和土壌での炭素鋼の腐食機構を説明する模式図が図12 である。不飽和土壌では、式(2)の鉄のアノード溶解が進行 するサイト(赤)と式(3)の酸素の還元反応サイト(青)は分 離する傾向がある。炭素鋼/土壌界面に十分な水が存在する 場所がアノードサイトとなり、炭素鋼/土壌界面には薄い水 膜が存在し、直上の土壌中には酸素の拡散通路が十分確保さ れる場所がカソードサイトとなる。すなわち、両反応は別々 の場所で進行するため、飽和土壌に比べて腐食が進行する面 積は小さいが、腐食部の浸食速度は著しく大きくなる。白金 電極を用いて電気二重層容量の含水率依存性を調べた結果、 含水率が70%以上では炭素鋼の接液界面は100%(全表面が 濡れている)であるが、含水率が50%以下になると接液界面 は減少し炭素鋼表面は部分的に乾きはじめる⁷⁰。乾いた表面 ではアノード、カソードのいずれの反応も進行しないので、 50%以下になると著しく腐食面積は減少する。

不飽和土壌中で平均腐食速度(*i*corr)に及ぼすかぶり厚さ の影響を調べた結果が図13である。前述したように、飽和土 壌(含水率100%)では腐食速度はかぶり厚さ依存が見られ なかった。一方、不飽和土壌では、腐食の律速段階がカソー ド支配からアノード支配に移行する90%付近において、か ぶり厚さの逆数(*d*⁻¹)に比例して腐食速度は増加する。すな わち、90%付近では土壌中の酸素の拡散が炭素鋼の腐食の律 速段階となっている。さらに含水率を減少させると腐食はア ノード支配になるため、かぶり厚さ依存はなくなる。従って、 図6において、含水率90%で平均腐食速度が最大を示すとし たが、これはかぶり厚さ10 mmで測定された結果で、平均腐 食速度が*d*⁻¹に比例して減少することを考えると、かぶり厚 さが厚くなると、最大の平均腐食速度を示す含水率は90%よ り低い含水率側に移行することが予想される。

5 微生物腐食

実環境から採取した黒ボク土中における炭素鋼の腐食速度 の経時変化を図14に示す。採取した土壌は160℃で2時間滅 菌処理をしたもの(微生物無し)と無処理のもの(微生物有り) を用い、それに高純度水を飽和するまで加えている。また、 測定は大気開放(好気性)と脱酸素環境(嫌気性)で行ってい る。滅菌処理した土壌での腐食速度は、嫌気、好気にかかわ らず、開始直後に急激に減少し、珪砂と全く同じ挙動であっ た。一方、無処理の土壌の腐食速度は大きく、特に、嫌気性土 壌では長期に渡って大きな腐食速度を示している。腐食試験 後の無処理の嫌気性土壌の腐食部に硫黄(S)が検出された ことから、嫌気性の硫酸塩還元菌による微生物腐食が示唆さ れた。この方法により、微生物腐食の進行の有無を簡便に調 べることができる。

6 土壌の腐食性評価

土壌の腐食性を決定する主因子は、pHとその緩衝能、含水 率および微生物であることが示された。また、土壌のかぶり 厚さは、腐食の律速段階がカソード支配からアノード支配に 遷移する含水率(かぶり厚さ10mmの珪砂で90%)付近のみ 影響を及ぼす。ここでは、土壌の腐食性、すなわち鋼材の土 壌腐食速度を迅速に評価するラボ試験について述べる。図1 のセルを使ったEIS法による腐食速度の評価は短時間で定常 状態の腐食速度を推定でき、従来の長期暴露試験に代わる土 壌の腐食性の迅速評価法として有効な手段である。本研究会 では、九州大学伊都キャンパス(九大伊都)、日本ウエザリン グテストセンターの銚子暴露場(JWTC銚子)と九州大学農



図13 不飽和土壌中における平均腐食速度とかぶり厚さの関係⁷⁾ (Online version in color.)



図 14 採取した実土壌 (黒ボク土) 中における炭素鋼の腐食速度 (Online version in color.)

学部演習林(九大演習林)の3か所の実土壌を採取して、その 腐食性をEIS法により評価した。また、プローブ電極(図1) を現地の土壌に埋設しEIS法により長期間の腐食モニタリン グも実施した。

図15はそれぞれの暴露サイトから採取した土壌での炭素 鋼の腐食速度の経時変化である。高純度水を飽和になるまで 各土壌に加え、飽和土壌(含水率100%)にした状態でEIS法 により評価している。九大伊都で採取した土壌中では、腐食 速度は試験開始5日で0.5 μ A·cm⁻²まで減少し、腐食減耗は 100年で厚さ1mm以下と換算されることから腐食性が十分 低い土壌と評価される。JWTC銚子から採取した土壌では、 最終的には九大伊都と同程度の腐食速度まで落ちるが、腐 食速度の減衰は遅く開始初期20日間の腐食速度は大きな値 を示すので、初期の腐食性の要因を検討する必要がある。ま た、九大演習林の土壌は、他の2箇所に比べ、大きな腐食速度 が最後まで続き、得られた R_{ct}^{-1} から推定される100年間の腐 食減耗は厚さ2 mm以上となり、一般の中性土壌に比べで腐



図15 各暴露サイトから採取した土壌の腐食性評価結果 (含水率: 100%) (Online version in color.)

食性が高いと判断される。表2は各土壌の分析結果である。 表中の「深さ」は土を採取した深さを表している。図15は JWTC銚子が10 cm、九大伊都と演習林が20 cmの深さから 採取した土壌の結果である。土壌の種類は、JWTC銚子が黒 ボク土、九大演習林が褐色森林土、九大伊都が未熟土で、そ れぞれ種類の異なる土壌である。表を見ると、土壌のpHは 九大伊都>JWTC銚子>九大演習林の順で低い。各土壌の微 生物の解析(菌叢解析)の結果、これらの土壌に差異が見ら れないことが確認されていることから微生物の関与の可能性 は低いと考えられ、従って、腐食速度の違いはそれぞれの土 壌のpHとその緩衝能の違いによると思われる。

実土壌環境で腐食モニタリングも試みた。図16はIWTC 銚子と九大演習林における平均腐食速度(R_{ct}⁻¹)と溶液抵抗 R_{sol} (土壌抵抗)の逆数の経時変化を約150日間計測した結果 である。ここでは、高周波数(10 kHz)と低周波数(10 mHz) の2点周波数のインピーダンスを1時間毎に自動測定し、高 周波数のインピーダンスをR_{sol}、低周波数と高周波数のイン ピーダンスの差を R_{tt} とした。図16は深さ10 cmの位置に埋 設したプローブ電極のモニタリング結果である。R_{sul}⁻¹の変化 は市販の含水量計の変化と良く一致し、かつ R_{sol}^{-1} が急激に 大きくなる時間と付近の気象台で降雨が記録されている時間 とが良く一致したことから、 R_{sol}^{-1} 変化から土壌含水率の変化 に関する情報が得られる。また、平均腐食速度 R_{ct}^{-1} は R_{sol}^{-1} と 良く対応して変化している。両暴露サイトのR_{ct}⁻¹を比較する と、ラボ試験での試験結果と同様に、九大演習林の土壌の腐 食性が高いことがわかる。また、ラボ試験では飽和土壌(含 水率100%)にした状態で腐食性を評価したが、実土壌の地 表付近では含水率は降雨により変動するため、図15 (含水率 100%) と図16のR_{ct}⁻¹を比較すると、実土壌環境の方が大き な平均腐食速度となっている。すなわち、実土壌環境では不

| 表2 | モニタリ | リングサイ | トの土壌の理化学性 |
|----|------|-------|-----------|
|----|------|-------|-----------|

| 採取地 | 土壌の 種類 | 深さ | рН | 電気伝 | 粒径組成 | | | 会出来 | ム空主 | 陽イオン | 遊離 | 非晶質 |
|---------------|-----------|-----|-----|------|------|-----|----|------|------|-----------------------|------|------|
| | | | | 導率 | 粘土 | シルト | 砂 | 土灰糸 | 土主糸 | 交換容量 | 酸化鉄 | 酸化鉄 |
| | | cm | | dS/m | % | % | % | g/kg | g/kg | cmol _c /kg | g/kg | g/kg |
| JWTC銚子 | 黒ボク 土 | 10 | 5.5 | 0.05 | 22 | 28 | 50 | 33.7 | 2.60 | 21.5 | 53.0 | 22.1 |
| | | 50 | 5.5 | 0.05 | 22 | 16 | 62 | 16.3 | 1.20 | 18.9 | 74.9 | 24.3 |
| | | 100 | 5.6 | 0.04 | 3 | 9 | 88 | 16.6 | 1.10 | 22.1 | 66.2 | 33.9 |
| 九大演習林 | 褐色森 林土 | 10 | 5.0 | 0.19 | 40 | 41 | 19 | 91.3 | 6.80 | 43.7 | 9.1 | 5.1 |
| | | 20 | 5.1 | 0.04 | 49 | 39 | 12 | 24.0 | 1.70 | 41.3 | 11.2 | 4.8 |
| | | 40 | 5.3 | 0.06 | 30 | 41 | 29 | 8.4 | 0.90 | 37.0 | 13.1 | 4.9 |
| 九大伊都 キャンパス | 未熟土 | 10 | 7.7 | 0.09 | 6 | 15 | 79 | 4.6 | 0.20 | 5.9 | 3.9 | 0.9 |
| | | 20 | 7.4 | 0.06 | 4 | 11 | 86 | 1.5 | - | 5.6 | 3.8 | 0.7 |
| | | 40 | 7.5 | 0.07 | 4 | 10 | 86 | 2.2 | - | 5.5 | 4.0 | 1.0 |



図16 暴露サイトでの腐食モニタリング結果 (Online version in color.)

飽和状態にあるためである。実土壌環境での腐食モニタリン グは含水率の変化による平均腐食速度の変化を知ることがで きるが、前述したように不飽和土壌中では腐食は不均一であ るため、実際の浸食深さを得るためには腐食部の面積を評価 する必要がある。従って、腐食速度の定量的な迅速評価とし ては、含水量100%でのラボ試験の方が有利かもしれない。

乙 おわりに

本研究会の活動により、炭素鋼の土壌腐食機構を解明し、 土壌の腐食性の迅速評価法を提案することができた。実際の 鋼構造物では、ひとつの連続した大きな構造体が異なる土壌 環境に接しマクロセルを形成することが少なくない。例え ば、地表付近では、降雨の影響により含水率が深さ方向に連 続的に変化する。また、地下水レベル付近では、飽和土壌と 不飽和土壌の境界が存在する。これらの含水率の違いはマク ロセル腐食を引き起こす可能性がある。そのような状況下で の腐食に土壌因子がどのように関与するのかについては今後 検討する必要がある。

謝辞

本稿では、日本鉄鋼協会「鉄鋼材料の土壌腐食機構の解明」 研究会(2016-2018)」、「鉄鋼材料の土壌腐食性評価」研究会 (2019-2020)の成果のうち、すでに公表されている内容を中 心に紹介した。研究会の関係者各位に謝意を表する。

参考文献

- M.Stern and A.L.Geary : J. Electrochem. Soc., 104 (1957), 56.
- 2) I.Epelboin, M.Keddam and H.Takenouti : J. Appl. Electrochem, 2 (1972), 71.
- 3)水流徹,春山志郎:防食技術,27(1978),573.
- 4)西方篤:防錆管理,65 (2021),296.
- 5)西方篤: Electrochemistry, 79 (2011), 45.
- 6) R. Hirata, W. Yonemoto, A. Ooi, E. Tada and A. Nishikata: ISIJ Int., 60 (2020), 2533.
- R.Hirata, A.Ooi, E.Tada and A.Nishikata : Corros. Sci., 189 (2021), 109568.

(2022年5月2日受付)

734