

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	土壌環境中における炭素鋼の腐食機構
Title(English)	
著者(和文)	平田 瞭
Author(English)	Ryo Hirata
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11951号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西方 篤,多田 英司,河村 憲一,林 幸,上田 光敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11951号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位（専攻分野）： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	平田 瞭		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	西方 篤
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	多田 英司

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

近年、社会インフラの老朽化問題や省資源・省エネルギー化の要求、新興国での建設投資の増加から、鋼管杭や鋼矢板等の土壌環境で使用される鉄鋼材料が重要になっている。しかしながら、土壌環境中における腐食は様々な環境因子が影響しているが、体系に環境因子と土壌腐食の相関を整理した例はほとんどなく、土壌腐食機構の包括的な理解、一般化には至っていない。そのため、土壌の腐食性は地域によって異なっているにも関わらず、環境因子の違いを考慮せず画一的な設計が現在行われている。土壌の腐食性の違いを念頭に置いた鋼材設計の高度化を実現するには、土壌環境因子と鋼材腐食の相関を明らかにすることが必須であり、土壌環境中における炭素鋼の腐食機構を解明する必要がある。そこで本論文では、粒径、かぶり厚さ、pH、含水率、微生物等の環境因子が炭素鋼の腐食に及ぼす影響を調査し、土壌環境中における炭素鋼の腐食機構を提案した。

第1章「緒論」では、土壌中における鉄構造物の劣化要因である腐食に及ぼす環境因子の解明の重要性を示した。そして土壌中における鉄鋼材料の腐食に関する既往の報告をまとめて未解明点を述べ、土壌環境因子と腐食速度の相関を調査することによる腐食機構解明の意義を明確にし、本論文の目的と構成を示した。

第2章「土壌腐食に及ぼす粒径、かぶり厚さ、pHの影響」では、3% NaCl水溶液で飽和させた模擬土壌環境（飽和度 = 100%）中において、二電極式の電気化学インピーダンス法（EIS）によって環境因子（粒径、かぶり厚さ、pH）と腐食速度の関係を調査した。初期過程では、腐食反応に伴う酸素の拡散層の成長によって、腐食速度が時間経過に伴って減衰することを示した。その後、腐食速度は数日程度で一定となり、定常状態に達した。このときの腐食速度は粒径・かぶり厚さに依らず約  $10 \mu\text{m y}^{-1}$  であることを示した。これは炭素鋼表面に形成した酸化皮膜によってアノード・カソード反応が抑制したためであり、飽和土壌中では電解移動/拡散の混合律速で腐食反応が進行することを明らかにした。また、試験初期では、土壌の間隙水の初期 pH や pH 緩衝性の違いによって、腐食反応は促進されるものの、定常状態では、中性環境と同程度まで腐食速度は減衰することを明らかにした。

第3章「土壌腐食に及ぼす含水率の影響」では、異なる含水率の模擬土壌中において、EIS法によって平均の腐食速度と土壌の水分量の相関を調査し、加えて、ex-situで電極表面の表面粗さ測定を行うことで、不飽和土壌（飽和度 < 100%）中で発生する不均一腐食の浸食深さについて検討した。電極表面全体に対する平均腐食速度 ( $i_{\text{corr}}$ ) は飽和度 90% で最大値を示すことを明らかにした。この  $i_{\text{corr}}$  を、表面粗さ測定から得られた腐食面積 ( $A_{\text{anode}}$ ) で補正することで、腐食部（アノード）の平均腐食速度 ( $i_{\text{corr(a)}}$ ) を決定した。得られた  $i_{\text{corr(a)}}$  は、飽和度 90% から 50% の範囲でほとんど変化しないことを示した。また、15 日間の暴露後の腐食部の平均腐食深さ ( $d_{\text{ave}}$ ) および最大腐食深さ ( $d_{\text{max}}$ ) のどちらも、飽和度 90% から 50% で明確な飽和度依存性を示さないことを明らかにした。不飽和土壌中における不均一腐食は土壌空隙内の液相・気相の分布に強く影響し、酸素拡散が容易なサイトがカソード、液相が多量に存在するサイトがアノードとして働き、アノードとカソードが分離することで吹きいつ腐食が発生することを明らかにした。このアノードの面積は飽和度によって変化し、飽和度 90% で  $A_{\text{anode}}$  は 14% に減少し、さらに飽和度が減少すると、飽和度 80% から 30% の範囲において、 $A_{\text{anode}}$  は約 5% で一定となった。

第4章「実環境中における腐食モニタリングによる環境因子の影響評価」では、実環境及び実験室中で、実土壌における腐食挙動について調査した。二電極式による腐食モニタリングによって、実環境中における炭素鋼の腐食速度と土壌の水分量の変化のモニタリングに成功した。この腐食速度と水分量は、降雨の有無などの気候条件に強く相関することを明らかにした。加えて、実環境中では、定常状態における土壌の含水率が、定常状態の腐食速度を決定していることを示した。複数の土壌（黒ボク土、灰色低地土、褐色森林土、真砂土）において、EIS法によって腐食性の違いを検討した結果、黒ボク土において、高い腐食速度が長時間維持されることを明らかにした。それ以外の土壌については、2週間程度で模擬土壌とほぼ同程度の約  $10 \mu\text{m y}^{-1}$  を示した。また、滅菌処理と曝気条件の違いが、炭素鋼の腐食速度に与える影響を評価した結果、滅菌無し・嫌気条件において、第2章の模擬土壌中の腐食速度より著しく高い腐食速度を示した。試験後の炭素鋼表面に形成した黒色の腐食生成物から S 成分が検出され、硫酸還元菌の影響が示唆された。

第5章「総括」では、本論文を総括し、土壌環境中における炭素鋼の腐食反応機構をまとめた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	平田 瞭		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	西方 篤
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	多田 英司

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

In Japan, a 1 mm corrosion allowance per 50 years has generally been adopted for the design of underground steel structures. However, the various environmental factors, such as soil particle size, covering thickness, water content in the soil, pH, ionic species, temperature, and microorganisms, are predicted to affect soil corrosion. Hence, there is a potential risk in a uniform design as described above. Therefore, it is vital to elucidate the correlation between soil corrosion and environmental factors. Thus, corrosion mechanism of carbon steel in soil environment was discussed in this study.

The average corrosion rate of carbon steel was monitored via electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in artificial soil (a mixture of silica sand and 3% NaCl solution) or actual soil. The carbon steel exposed in the saturated soil (degree of saturation:  $S_r = 100\%$ ) showed uniform corrosion. In saturated soil, corrosion rate at steady-state indicated  $10 \mu\text{m y}^{-1}$  regardless of particle size and covering thickness due to the suppression of anodic and cathodic reactions by the oxide film. However, higher corrosion rate than artificial soil was observed in the actual soils, and it was shown that microorganisms and pH buffering promote the corrosion reaction. In unsaturated soil ( $S_r < 100\%$ ), the anode and cathode were clearly separated, and non-uniform corrosion was observed. The average corrosion rate of the entire electrode surface area showed a maximum at approximately 90% $S_r$ . Meanwhile, the corrosion rate of the corroded area was kept constant in the range of 90% $S_r$  to 50% $S_r$ . Both average and maximum corrosion depth showed no clear  $S_r$  dependence in the range of 90% $S_r$  to 50% $S_r$ .

Finally, the corrosion mechanism of carbon steel in soil environment was proposed, and the relationship between corrosion rate and environmental factors was summarized.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).