

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	コンクリート模擬環境における亜鉛の不動態化および脱不動態化機構
Title(English)	
著者(和文)	前田真利
Author(English)	Mari Maeda
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11450号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西方 篤,多田 英司,須佐 匡裕,林 幸,上田 光敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11450号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	前田真利	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	西方 篤	教授	上田光敏	准教授
	審査員	多田英司	准教授		
		須佐匡裕	教授		
林 幸		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「コンクリート模擬環境における亜鉛の不動態化および脱不動態化機構」と題し、6章から構成される。

第1章「緒論」では、コンクリートの中性化や塩害が鉄筋の腐食を引き起こす主な原因であり、コンクリート構造物の長寿命化のためには鉄筋の新たな防食法が必要であると述べている。その中で、亜鉛めっきによる鉄筋の防食が提案されているが、亜鉛めっきの有効性を示すためには健全なコンクリート環境（高アルカリ性）およびコンクリートが劣化していく過程（塩化物を含む弱アルカリ性～中性）において、鉄筋と亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動の違いを明らかにする必要があるとし、コンクリート環境中での亜鉛の腐食に関する報告を概括し、本論文の目的と構成を述べている。

第2章「コンクリート模擬環境における亜鉛の不動態化機構」では、健全なコンクリート模擬環境中（モルタル、飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液）において、電気化学インピーダンス法（EIS）、腐食電位測定、分極曲線測定により亜鉛と炭素鋼の不動態化挙動を比較している。すなわち、炭素鋼は浸漬直後に不動態化するのに対し、亜鉛は不動態化するまでにモルタル中で約 20～100 時間、飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液中で約 400 時間を要し、亜鉛と炭素鋼は異なる不動態化挙動を示すことを明らかにし、不動態化時間がモルタル中で短い理由は、モルタル中では対流が存在しないため溶出した $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ の拡散が抑制されるためであるとしている。また、炭素鋼の不動態皮膜は一般的に数 nm であるのに対し、亜鉛不動態皮膜は約 5 μm の厚い $\text{Ca}(\text{Zn}(\text{OH})_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （CHZ）皮膜であることを明らかにしている。

第3章「コンクリート模擬環境における塩化物イオンによる亜鉛の脱不動態化」では、コンクリート模擬環境における亜鉛と炭素鋼の塩化物イオンによる脱不動態化の条件を明らかにするため、 NaCl を含む飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液中（pH 12.5）とモルタル中において、EIS 測定と腐食電位測定より脱不動態化挙動を検討している。EIS から決定される電荷移動抵抗値 R_{ct} が $1 \times 10^6 \Omega\text{cm}^2$ 以上で不動態と定義すると、モルタル中において亜鉛も炭素鋼も塩化物イオン濃度が 0.3 M 以下であれば不動態を維持できるとしている。亜鉛は 0.3 M 以下の塩化物イオンを含むモルタル中において CHZ 皮膜が形成することにより不動態を示し、0.5 M 以上の塩化物イオンを含むモルタル中では表面にはポーラスな保護性の低い $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が形成し脱不動態化することを明らかにしている。

第4章「コンクリートの中性化過程における非破壊 pH 測定法の構築と適用」では、非破壊で測定が困難であったコンクリートの中性化に伴う pH 低下を測定するための、熱酸化処理により作製した Ir 酸化物電極による非破壊 pH 測定法を構築している。また、高濃度 CO_2 環境下に、モルタルを暴露することにより中性化を促進し、作製した Ir 酸化物電極により pH 測定を行い、EIS 測定で R_{ct} の値から亜鉛と炭素鋼の脱不動態化の pH を検討した結果、モルタル中では pH が 11 まで低下すると炭素鋼は脱不動態化しはじめ、pH 10 で完全に皮膜の保護性が消失するとしている。一方、亜鉛は pH 11 以下で CHZ 皮膜が消失し脱不動態化するが、 ZnO の形成により炭素鋼よりも高い保護性を示すことを明らかにしている。

第5章「コンクリート模擬環境における中性化と塩化物イオンによる亜鉛の脱不動態化機構」では、塩化物イオンを含むコンクリートの中性化過程において、第4章で構築した Ir 酸化物電極による pH 測定を行い、第3章で得られた塩化物イオンによる脱不動態化条件をもとに、塩化物イオン存在下での脱不動態化挙動を検討している。EIS 測定と表面分析より、養生後のモルタルを高濃度 CO_2 環境で中性化すると、炭素鋼は塩化物イオン濃度に限らず pH 11～10 で脱不動態化し保護性を失うのに対し、亜鉛は pH 11 以下でも塩化物イオン濃度が 0.05 M 以下であれば ZnO の形成により表面の保護性をある程度維持でき、塩化物イオン濃度が 0.5 M 以上になると保護性の低い $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が安定になり、皮膜の保護性は完全に失われるとしている。

第6章「総括」では、本論文で得られた結果から、pH が 12.5～10、塩化物イオン濃度 0～1 M のコンクリート環境における炭素鋼と亜鉛の不動態・脱不動態領域を示し、本論文の第1章から第5章を総括している。

以上、本論文は、コンクリートの劣化過程における炭素鋼と亜鉛の不動態・脱不動態機構を明らかにし、亜鉛めっきによる鉄筋の長寿命化の可能性を提案するもので、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。