

氏 名 川崎 佑磨

主論文審査の要旨

鉄筋コンクリート (RC) 構造物は、コンクリートと鉄の複合材料として、力学的には圧縮に強く引張に弱いコンクリートを引張に強い鉄筋が補強し、化学的には腐食する鉄をアルカリ性のコンクリートが皮膜することにより保護する優れた構造体である。しかし、メンテナンスフリーとして考えられてきた RC 構造物は、近年では様々な劣化が問題となっている。そこで、本研究では塩害によるコンクリート中の鉄筋腐食により構造物の性能が低下するという問題に注目し、機構の解明を行っている。第 1 章では論文の構成と、塩害がコンクリート中の塩化物イオンが鉄筋を腐食させることにより劣化が生じる過程を解説している。第 2 章では、腐食機構がまとめられている。コンクリートは pH12~13 の強アルカリ材料であり、コンクリート中の鉄筋は鉄筋表面に形成される不動態被膜により保護されて容易に腐食しない。しかし、塩化物イオン濃度が高くなると不動態被膜は破壊されて腐食しやすい環境となる。鉄筋腐食が進行すると、腐食生成物による膨張圧でコンクリートにひび割れや剥離が生じる。我が国は、海に囲まれている自然環境のために、鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食による劣化が多く発生している。したがって、RC 構造物の鉄筋腐食を早期検出することはコンクリート構造物の維持管理において不可欠である。材料内部に発生した微小ひび割れから発生する弾性波を用いてひび割れの有無を診断する手法にアコースティック・エミッション(AE)法がある。第 3 章では、この検査法のコンクリート構造への適用性について検討している。AE パラメータ解析について実験的に検討し、乾燥収縮ひび割れの発生機構との関係にも言及している。第 4 章では、AE 波動解析として、ひび割れの位置標定や種類の識別・ひび割れ面方向の可視化ができる高度な SiGMA 法について検討を行っている。そして、引張破壊への適用例として、割裂試験の結果がまとめられている。

第 5 章では、塩害による環境条件を模擬した 7 日間浸漬と乾燥を繰り返す浸漬乾燥繰り返し実験中に AE 法を適用している。その結果、AE パラメータ解析結果において、鉄筋腐食生成物発生時期と腐食生成物の膨張によるコンクリート内部の微小ひび割れ発生時期の 2 つの時期で特徴的な AE 挙動が検出されることを明らかにしている。また、SiGMA 解析結果によって、コンクリート内部の微小ひび割れを 3 次元イメージ画像として欠陥を検出できるようになり、鉄筋腐食生成物の発生位置とコンクリート中のひび割れ発生位置の同定が可能としている。そこで、第 6 章では、走査型電子顕微鏡(SEM)および電子線マイクロアナライザー(EPMA)や実体顕微鏡を用いて、各時期のコンクリート内部の腐食状況の確認や成分分析などを行っている。それらの結果は、有限要素法と境界要素法を用いた解析的な検討結果も踏まえて考察し、AE パラメータ解析および SiGMA 解析結果と一致していることが述べられている。これらのすべての結果が、第 7 章でまとめられ、コンクリート中の鉄筋腐食によるコンクリートひび割れの解明と早期評価に AE 法が有効であることが明らかにされている。

以上の成果は、既に国際会議で 7 件発表済みである。査読付き論文では国内誌に 8 編、国際誌に 3 編を公表している。さらに、修士課程修了時の自然科学研究科賞に加えて、エディンバラで開催された世界でも権威のある国際会議で NDT Best Paper Award を受賞し、国内でも 2 件の学会講演賞を受賞している。これは明らかに、講座の学位審査基準（国際誌 1 編）を満足しており、博士課程の修了と学位授与に十分な内容であると判断した。

最終試験の結果の要旨

論文発表会終了後に、本論文の内容に関連する事項について審査委員会で口頭試問を実施し、十分な科学的・工学的な知見を有することを確認した。なお、英語能力は、研究成果の3編が国際誌に公表されていることと国際会議での7件の講演経験を踏まえて十分な能力を有すると判断した。以上の結果より審査委員会は一致して最終試験は合格と判定した。

審査委員	複合新領域科学専攻複合新領域科学講座	教授	大津 政康
審査委員	複合新領域科学専攻複合新領域科学講座	教授	秋山 秀典
審査委員	環境共生工学専攻社会環境マネジメント講座	教授	山尾 敏孝
審査委員	複合新領域科学専攻複合新領域科学講座	准教授	重石 光弘