

仕上材の鉄筋コンクリート躯体中性化抑制効果に関する研究

学位論文内容の要旨

地球環境問題等を背景とし、既存ストックの有効活用が社会的な要請となりつつある昨今、既存鉄筋コンクリート造建築物の耐久性を向上させ長期耐用化していくことは重要な課題となっている。一般に、鉄筋コンクリート造の寿命は、コンクリートの中性化とそれに伴う鉄筋腐食により論じられることが多いが、いまだに明らかではない問題として仕上材の効果の把握が挙げられる。古くから各種仕上材による中性化抑制効果は報告されており、定性的にはその効果の程度もわかってきている。しかしながら、既往の研究は事例研究に留まっており、仕上材には多種多様なものがあり、データの無い仕上材や新しく開発された仕上材等には既往の研究成果が適用ができず、仕上材の効果の把握が困難であるのが現状である。

また、自然環境における仕上材の効果を明らかにするためには、自然暴露状態における仕上材の劣化の進行状況の把握の問題がある。これを明確にするためには長期の自然暴露試験を行う必要があるが、データが少ないのが現状である。現在、仕上材の劣化の評価には促進試験が一般的に行われているが、自然暴露試験との相関が必ずしも明確でないことがあげられ、このため自然暴露状態における仕上材の劣化についても明らかにされていないといえる。

本論文では、自然暴露状態における仕上材の鉄筋コンクリート造躯体保護効果について明らかにするため、コンクリート表層部の含水状態に着目し、検討を行った。既往の研究から、雨がかり、極めて高い湿度や低い湿度、低温の条件においては、中性化の進行が停止又は遅延することが知られており、これに基づき実際の気象データを解析し、気象因子の中性化への影響を明らかにするとともに、降雨によるコンクリートの含水状態の検討を行った。この検討に基づき環境条件を考慮した中性化予測手法の提案を行い、屋外暴露試験によってその適合を確認した。次に、コンクリートの含水率が中性化の進行に影響することから、仕上材の効果としてコンクリート躯体の含水率制御効果があるものと考え、仕上材をこれに関連する透湿性等の性能により分類し、促進試験と屋外暴露試験で、これらの性状の変化を明らかにした。その結果をふまえ、仕上材の分類に応じた中性化予測手法の提案を行い、屋外暴露試験によりその適合を確認した。さらに中性化進行後の鉄筋腐食の仕上材による抑制効果について、屋外暴露試験によりその性状を明らかにし、効果的な仕上材の躯体保護効果の活用方法について提案を行った。最後に、以上の成果をとりまとめ、環境条件と仕上材の影響を考慮した中性化予測手法の提案を行い、屋外暴露試験結果との適合性を示した。これらをふまえ鉄筋コンクリート造に用いる仕上材についての合理的な補修・改修手法についての提案を行った。

本論文は、7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べ、本研究に関連する既往の研究の調査

とその問題点の整理を行い、本研究の位置づけを行うとともに、各章の構成を記した。

第2章では、コンクリート単体での中性化予測についての検討を行った。コンクリートの中性化進行に影響する要因のうち特に雨がかり等の環境条件を考慮し、より精度のよい中性化進行予測を可能とするため、各種促進中性化試験と建築研究所（茨城県つくば市）における長期間（10年以上）の屋外暴露試験の結果に基づき、建築研究所における当該暴露期間の気象データの影響分析を行い、コンクリートの含水状態に関する考察を加えて、気温、相対湿度、雨がかり等の環境条件を考慮した中性化予測手法の提案を行った。従来の中性化予測手法と異なる点として、雨がかりの影響を評価して含水状態の変化を考慮したものとした。ここで提案した予測方法による結果と既存の文献における長期間の屋外暴露のデータと比較を行い、その妥当性について検討を行い、その適合性を示した。この結果、この手法により、当該地点の気象データと促進中性化試験結果があれば、屋外側の中性化の進行予測ができることとなる。

第3章は、現在一般的に建築物に用いられている仕上材について、中性化抑制効果及び鉄筋腐食抑制効果に関係すると考えられる透湿性等の各種性能について、基礎実験と既存文献調査によりその程度を明らかにするとともに、その性能による分類を行った。また、これらの仕上材の長期性状について、促進劣化試験と10年以上にわたる屋外暴露試験に基づき、その劣化の進行状況について明らかにした。

第4章では、第2、3章の結果をふまえ、仕上材の中性化抑制効果を、従来から言われてきた二酸化炭素の遮断という観点だけでなく、含水率のコントロールという観点に着目し、表面に劣化していない仕上材がある場合の屋外におけるコンクリートの中性化予測手法の提案を行った。各種促進中性化試験と11年間の建築研究所における屋外暴露試験の結果によりこの予測手法の検証を行い、その適合を確認した。その結果、仕上材の透湿性等の性状が既知な場合、屋外における中性化の進行予測ができることとなる。

第5章では、コンクリートの中性化が進行した後の鉄筋腐食が進行する過程において、仕上材の鉄筋腐食抑制効果について、鉄粒子等の発錆物質をコンクリート中に混入し、目視により発錆した深さを測定することで、鉄筋腐食が生じる可能性があるかどうかを評価する手法（「コロージョンインジケータ法」）を用いて、促進腐食試験及び屋外暴露試験を行った。この結果、一般的な仕上材は中性化が進行している部分については、コンクリート中にある鋼材の発錆を抑止する効果が大きくは期待できないこと等を明らかとし、仕上材の躯体保護効果を有効に活用できる範囲について提案を行った。

第6章では、第2章から第5章までの成果をふまえ、本予測手法により予測された結果に基づき、鉄筋コンクリート造に用いる仕上材の合理的な補修・改修手法についての提案を行った。

第7章は総括であり、本研究の成果を要約した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 千 歩 修

副 査 教 授 大 沼 博 志

副 査 教 授 佐 伯 昇

副 査 教 授 絵 内 正 道

学 位 論 文 題 名

仕上材の鉄筋コンクリート躯体中性化抑制効果に関する研究

仕上材の中性化抑制効果等の躯体保護効果は、鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上にかかわる重要な要因であるが、これまで適切に評価されていないのが現状である。これは、仕上材の種類が多いこと、建築物には様々な劣化外力が作用すること、さらには地域・部位によって環境条件が大きく異なること等のように、実環境における仕上材の躯体保護効果に対する影響要因が多く複雑なため、明らかにされていない点が多いことによる。

本論文では、仕上材のうち仕上塗材を主な対象とし、仕上材は躯体の含水状態を変えらるゝと考えられることから、躯体コンクリートの含水状態等を考慮した様々な促進試験・暴露試験の結果から実環境におけるコンクリートの中性化進行の予測方法を提案した。さらに、仕上材の躯体保護効果に関わる性能とその低下を把握し、仕上材の中性化抑制効果を明確にし、実環境における仕上材のある場合の中性化進行の予測手法および仕上材の選定の考え方を提案したものである。

本論文の成果とその評価を要約すると以下ようになる。

- 1) 従来からコンクリートの中性化の進行に関係する各種要因を取り入れた予測式が提案されているものの、実際の建築物調査結果や暴露試験結果との対応は十分ではなかった。本研究では、雨がかりの有無等を考慮した屋外暴露試験の結果から環境条件の影響を、特に、コンクリートの含水状態について着目して考察し、仕上材がない場合のコンクリートの中性化進行の考え方の提案を行った。これにより、様々な条件の自然環境下における仕上材がない場合の中性化の進行予測を可能としている。
- 2) 仕上材の中性化抑制効果等の躯体保護効果については、従来の研究では仕上材ごとに試験結果が報告される程度であり、現状では仕上材の躯体保護効果をその基本的な性能から評価することは困難であった。本研究では、仕上材の躯体保護に関わる性能を、透気性、透湿性および透水性の三つの項目で評価することを提案し、主要な仕上材についてこれらの性能値の範囲、それぞれの性能値の関係および特徴を明らかにした。また、様々な促進試験及び暴露試験により、各種劣化外力によるそれらの性能の低下傾向を把握し、躯体保護効果に関連する仕上材の性能の劣化予測手法を提案した。

3) これまで仕上材の中性化抑制効果は、仕上材による二酸化炭素遮断効果として論じられてきた。本研究では、仕上材があることによるコンクリート表面部分の含水状態の変化に着目し、仕上材は、直接的な二酸化炭素遮断効果だけではなく、コンクリートの含水状態を高く保持することによって中性化を抑制する効果があることを明らかにした。すなわち、この仕上材の効果とは、初期材齢においてコンクリート表面部分の含水率を高く保持する効果、降雨があったときにコンクリートへの水分の供給を行うことで含水率を高く保持する効果である。これらの効果を考慮し、仕上材がある場合の自然環境下における中性化進行の予測手法を提案し、これを暴露試験のデータにより検証した。このように、従来は予測が困難であった自然環境下における仕上材のある場合の中性化の進行予測を可能としたものであり、この成果は仕上材の効果を考慮した鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計法への発展が期待される。

4) コンクリートの中性化が進行した後の鉄筋腐食に対する仕上材の抑制効果は、明らかにされていない。本研究では、仕上材の鉄筋腐食抑制効果について促進試験および屋外暴露試験によって検討し、中性化が進行した部分では、仕上材によっては鉄筋腐食を遅らせることのできるものもあるが、鉄筋腐食を抑制する効果は大きくは期待できないことを明らかにした。また、海岸地域等の飛来塩分に対する遮断効果についてもあわせて検討を行い、鉄筋腐食抑制効果は、仕上材の透湿性との相関性が高いことを明らかにした。

さらに、これまで得られた知見に基づき、従来行われてきたような美装性や仕上材自体の耐久性だけを考慮するのではなく、躯体保護効果を考慮した仕上材の選定の考え方を提示するとともに、合理的な補修・改修の考え方の提案を行った。

この論文での様々な提案は、長期耐用を考慮した新築および既存建築物に対し、仕上材の性能に基づく耐久設計を行うための有効な手段となり、さらに実際の建築物の耐久性の向上とその合理的な評価に寄与するところは大きいと評価される。

これを要するに、著者は、仕上材自体の性能とその劣化および仕上材によるコンクリートの含水状態の変化を考慮した中性化の進行抑制による躯体保護効果についての新知見を得たものであり、コンクリート工学および建築材料学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。