

学位論文題名

仕上塗材の劣化を考慮した鉄筋コンクリート造部材の
中性化進行および塩化物イオン浸透予測に関する解析的研究

(Study on the prediction of penetration of carbonation progression and carbonation progression of reinforced concrete components considered the degradation of coating materials for textured finishes)

学位論文内容の要旨

鉄筋コンクリート構造物の主な性能低下の要因として、コンクリート中への塩化物イオンの浸透および中性化の進行に起因する鉄筋腐食があげられる。鉄筋コンクリート構造物の塩化物イオンの浸透および中性化進行の予測、さらにこれらに起因する鉄筋腐食の予測は、これまで多くの研究が行われている。しかし、建築物の場合、一般に仕上材を施工されることが多いが、その場合のこれらの予測については明らかとなっていない点が多い。近年、構造物の長寿命化が社会的に要求されるようになり、仕上材による塩化物イオン浸透抑制効果や中性化抑制効果などの躯体保護効果が期待されるようになってきている。このような背景から、仕上材の塩化物イオン浸透抑制効果および中性化抑制効果の定量的な評価と、それに基づく塩化物イオン浸透および中性化の予測手法が求められている。ここで、仕上材を施工した場合の塩化物イオンの浸透および中性化進行の予測手法を構築するにあたり、次の2点が大きな問題としてあげられる。一つは、仕上材を施工したコンクリートについて、自然環境下における塩化物イオン浸透および中性化進行が明らかではない点である。これを知るためには屋外暴露試験を行う必要があるが、長期にわたるデータが少ないとともに、複数の地域に暴露して地域環境条件の影響を検討できるデータも少ないのが現状である。そのため、促進劣化試験により評価を行っているのが一般的であるが、屋外暴露試験との相関が明確になっていない問題がある。もう一つは、仕上材、特に高分子系仕上材料の場合、仕上材自体の劣化の問題があげられる。仕上塗材などの高分子系仕上材料は、紫外線や熱などにより劣化し、美観が低下するとともに、躯体保護効果も低下することが知られている。しかし、自然環境下における高分子系仕上材料の定量的な劣化進行は明らかではない。

本論文は、鉄筋コンクリート造部材に施工した仕上塗材の塩化物イオン浸透抑制効果および中性化抑制効果を主な対象として、これらの問題に対し、次の検討を行った。まず、既往の関連する研究のデータを抽出し、仕上塗材の種類毎の塩化物イオン浸透抑制効果および中性化抑制効果の程度を明らかにした。次に、仕上塗材を施工したコンクリート試験体を日本各地の4つの地域に約10年屋外暴露した結果に基づき、仕上塗材の自然環境下

における塩化物イオン浸透および中性化進行予測についての検討を行った。屋外暴露したものと同一仕様の試験体について促進中性化試験を行った結果に基づき、仕上塗材自体の劣化を考慮しない場合の仕上塗材を施工したコンクリートの中性化進行モデルを検討し、自然環境下における中性化進行予測を行い、屋外暴露試験結果よりそのモデルの妥当性の確認を行った。また、塩化物イオンの浸透についても同様に、仕上塗材自体の劣化を考慮しない場合の仕上塗材を施工したコンクリートへの塩化物イオン浸透モデルを検討し、屋外暴露試験結果よりそのモデルの妥当性の確認を行った。さらに、熱・紫外線による仕上塗材自体の劣化進行式を提案し、屋外暴露試験結果からその妥当性の確認を行うとともに、提案した手法を利用して、仕上塗材自体の劣化を考慮した中性化進行および塩化物イオン浸透の予測手法を提案し、屋外暴露試験結果との適合性を示した。

本論文は、6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、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、本論文の構成を記した。

第2章は、建築用仕上塗材およびセメント系素地用塗料を対象として、促進中性化試験、塩化物浸透試験、屋外暴露試験が行われた研究についてデータを抽出し、各仕上材の中性化抑制効果および塩化物イオン浸透抑制効果の程度を明らかにした。

第3章は、仕上塗材を施工したコンクリート試験体を石狩、つくば、東京、沖永良部の4つの地域に約10年屋外暴露した結果を示すとともに、屋外暴露した試験体と同じ仕様の促進中性化試験のデータに基づき、仕上材を施工した場合の二酸化炭素の浸透とコンクリート中の反応を考慮した中性化進行モデルの検討を行った。このモデルを用い、自然環境下での各仕上塗材を施工した場合の中性化進行予測を行い、屋外暴露試験結果によりその妥当性の確認を行った。

第4章は、大気中の塩化物イオンが仕上材を施工した鉄筋コンクリート造部材に浸透するメカニズムを考慮したモデルを検討した。このモデルを用い、自然環境下における各仕上塗材を施工した場合のコンクリート中への塩化物イオン浸透予測を行い、屋外暴露試験結果によりその妥当性の確認を行うとともに、鉄筋腐食時期の予測を行った。

第5章は、屋外暴露後の各仕上塗材の劣化状況を明らかにするとともに、熱・紫外線による仕上塗材自体の劣化進行式を提案し、屋外暴露試験結果からその妥当性の確認を行った。さらに第3章、第4章をふまえ、仕上塗材自体の劣化を考慮した中性化進行および塩化物イオン浸透抑制の実用的な予測手法を提案した。この予測手法による結果と屋外暴露試験結果との適合性を示した。

第6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	准教授	長谷川	拓哉
副査	教授	千歩	修
副査	教授	横田	弘
副査	教授	杉山	隆文

学位論文題名

仕上塗材の劣化を考慮した鉄筋コンクリート造部材の 中性化進行および塩化物イオン浸透予測に関する解析的研究

(Study on the prediction of penetration of carbonation progression and carbonation progression of reinforced concrete components considered the degradation of coating materials for textured finishes)

仕上塗材による鉄筋コンクリート造部材の中性化抑制効果および塩化物イオン浸透抑制効果は、定性的には従来より知られていた。しかし、屋外環境下における鉄筋コンクリート造部材の中性化進行や塩化物イオン浸透の定量的な予測を行うにあたり、長期的な屋外暴露試験等に基づく検討例が少なく、屋外環境下での挙動が十分に把握されていなかったとともに、高分子系仕上塗材の場合、材料自体の劣化進行が明らかでない点が課題としてあげられており、屋外環境下においてこれらを適切に予測できる手法は存在していなかった。本論文では、鉄筋コンクリート造部材に施工した仕上塗材の塩化物イオン浸透抑制効果および中性化抑制効果を主な対象として、長期的な屋外暴露試験に基づき、屋外環境下における中性化進行および塩化物イオン浸透の予測手法の提案を行うとともに、仕上塗材自体の劣化による経年変化を考慮した予測手法の提案を行っている。

本論文の成果とその評価を要約すると以下のようなになる。

- 1) 従来、定性的にしか把握できなかった仕上塗材の中性化抑制効果および塩化物イオン浸透抑制効果について、促進中性化試験、塩化物浸透試験、屋外暴露試験が行われた既往の研究データを抽出し、各仕上塗材の中性化抑制効果および塩化物イオン浸透抑制効果の程度を定量的に明らかにした。この結果から、各種仕上塗材のこれらの効果は、JISに規定されている種類毎に整理できることを示している。
- 2) 従来、促進中性化試験結果に基づいて論ぜられることが多かった仕上塗材の中性化抑制効果について、仕上塗材を施工したコンクリート試験体を日本各地の4つの地域に約10

年屋外暴露した結果に基づき、屋外環境下における当該効果を明らかにするとともに、仕上塗材を施工したコンクリートの自然環境下における中性化進行予測に関する数値解析を検討し、屋外暴露試験結果により解析の妥当性の検証を行った。これにより、従来、予測が困難であった屋外環境下での仕上塗材を施工したコンクリートの中性化進行予測を可能としている。

3) 中性化と同様に、従来、塩水浸漬等の試験結果に基づいて論ぜられることが多かった仕上塗材の塩化物イオン浸透抑制効果について、海岸地域に屋外暴露した結果に基づき屋外環境下における効果を明らかにするとともに、仕上塗材を施工したコンクリートの塩化物イオン浸透予測に関する数値解析を検討し、屋外暴露試験結果により解析の妥当性の検証を行った。これにより、従来、明確ではなかった屋外環境下での仕上塗材を施工したコンクリートへの塩化物イオン浸透予測を可能としている。

4) 従来、明確でなかった屋外環境下における各仕上塗材の劣化状況を、屋外暴露試験に基づき明らかにするとともに、熱・紫外線による仕上塗材自体の劣化進行の予測式を提案し、屋外暴露試験結果からその妥当性の確認を行った。さらに、仕上塗材自体の劣化を考慮した中性化進行および塩化物イオン浸透予測の実用的な予測手法を提案した。この予測手法による結果と屋外暴露試験結果との適合性を示した。これにより、従来は予測が困難であった仕上塗材自体の劣化を考慮した鉄筋コンクリート造部材の中性化進行および塩化物イオン浸透を予測可能としており、鉄筋コンクリート造の耐久性における性能設計への寄与が期待できる。

これらの提案は、長期耐用を考慮した新設鉄筋コンクリート構造物、既設鉄筋コンクリート構造物の耐久設計および劣化予測を行うための有効な手段となり、実際の構造物の耐久性の向上とともに、構造物の維持管理技術のさらなる進展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、長期的な屋外暴露試験に基づき、仕上塗材を施工したコンクリートの中性化進行および塩化物イオン浸透に関し、仕上塗材自体の劣化を考慮した予測手法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。