

学位論文題名

# 鉄筋コンクリート造建築物の凍害劣化予測と

## 耐久設計手法に関する研究

### 学位論文内容の要旨

コンクリートの凍害は、寒冷地の鉄筋コンクリート造建築物にとって大きな問題である。

凍害に関しては、数多くの研究者によって、広い範囲で行われ、凍害防止のためのデータが数多く蓄積されている。しかしながら、凍害は、非常に多くの要因が影響し、それらが複雑に組み合わさって発生するため、自然環境下でのコンクリートが実験室における促進試験結果とどのように対応するかについての知見は得られておらず、自然環境下における構造体コンクリートの凍害の劣化予測と耐久設計を行うことは困難であり、自然環境下での気象因子を考慮した上で実験室での凍結融解試験結果を評価し、構造物の耐久性と関連づけることが実用上の課題となっている。

そこで、本論文では、経年による凍害に着目して、まず、鉄筋コンクリート造建築物の実態調査を行い、凍害の現状を整理した。そして、既往の実験結果をもとに、凍結融解促進試験の結果に及ぼす環境要因の影響について統計的な解析を行い、各種要因の影響程度を定量化した。また、屋外暴露試験の結果から気象因子とコンクリート温度との関係を明らかにし、気象因子から方位・部位別のコンクリート温度を表示する実験式を導いた。そして、得られた実験式に全国各地の気象データをあてはめ、コンクリート温度を算出し、コンクリートが受ける凍結融解作用の強さを推定した。さらに、鉄筋コンクリート造建築物における経年による凍害の劣化予測を行うとともに、設計者が簡便に耐久設計を行える手法について提案した。なお、本論文における耐久設計とは、「建築工事標準仕様書・同解説書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」における「26節 凍結融解作用を受けるコンクリート」に基づいたコンクリートの要求性能を満たすための設計とした。

本論文は、6章で構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章は、序論であり、本論文の背景、目的、関連する既往の研究について述べ、本論文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、鉄筋コンクリート造建築物における凍害劣化現象と地域特性について述べた。凍害の地域特性を把握する上で、新潟市、十日町市、札幌市、網走市、旭川市、釧路市、帯広市の凍害劣化の実態調査を行い、その地域による差や方位の差、部位による差を明確にし、今後の鉄筋コンクリート造建築物のコンク

リートやディテールなどの設計に役立てた。

第3章では、既往の凍結融解促進試験の実験結果から、凍結融解促進試験の凍結融解1サイクル当たりの相対動弾性係数の変化量をもとに、コンクリートの凍害劣化に影響を及ぼす環境要因を定量化し、ASTM相当サイクル数を求める実験式を誘導した。なお、ASTM相当サイクル数とは、コンクリートが受ける凍結融解環境(凍結時の最低温度、凍結融解条件)とコンクリートの条件(耐凍結融解抵抗性、養生条件)とが既知であれば、そのコンクリートが、1年間(1冬期)において、凍結融解促進試験のASTM C-666 A法で何サイクル数を受けたものに相当するかという値である。この得られた実験式より、凍結環境作用として全国の気象データを用いて、各都市(地域)の凍結融解作用の強さを算出した。

第4章では、環境温度とコンクリート温度との関係および気象因子とコンクリート温度との関係について、それぞれ実験を行い、気象因子から方位・部位別のコンクリート温度を推定する実験式を誘導した。そして、得られた実験式に全国各地の気象データをあてはめ、全国各地の方位・部位別のコンクリート温度を算出した。さらに、全国各地のコンクリート温度を第3章で誘導したASTM相当サイクル数を求める実験式にあてはめ、コンクリート温度を考慮した凍結融解作用の強さを算出した。そして、方位・部位別のコンクリート温度を考慮した凍害の劣化予測を行い、凍害に対するコンクリートの耐用年数の算出方法を示した。

第5章では、第2～4章を踏まえて、「建築工事標準仕様書・同解説書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」における「26節 凍結融解作用を受けるコンクリート」に基づいた鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計を行うために、統計的な気象データから、設計者が簡便に行える手法を提案した。さらに、統計的な気象データとしてアメダスのデータを用いることが多いと考えられるため、アメダス観測所と同等と思われる区域を郵便番号区画で区分し、それをデータベース化を行った。このデータベースを利用することで、建設地の郵便番号が既知であれば、建設地の気象データが判別でき、耐久設計が容易になるとと思われる。そのデータベースを用いた設計例を示した。

第6章は総括であり、第2～5章から得られた結果についてまとめ、本論文の成果を要約した。

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	友澤	史紀
副査	教授	石山	祐二
副査	教授	大沼	博志
副査	教授	鏡味	洋史
副査	教授	佐伯	昇
副査	助教授	千歩	修

学位論文題名

## 鉄筋コンクリート造建築物の凍害劣化予測と 耐久設計手法に関する研究

コンクリートの凍害は、寒冷地の鉄筋コンクリート造建築物にとって大きな問題であり、これまで数多くの研究が行われ、凍害防止のための成果が蓄積されている。しかしながら、凍害には様々な要因が影響し、これらが複雑に組み合わさって劣化が発生するため、自然環境下におけるコンクリート造建築物の凍害の劣化予測あるいは耐久設計を行うことは困難であるといわれている。実験室において凍結融解促進試験は行われるものの、現在のところコンクリートの品質の比較のために行われているものであり、自然環境下におけるコンクリートの劣化と促進試験結果とを関連づけることが重要な課題となっている。

本論文では、実験室における促進試験結果と自然環境下におけるコンクリートが受ける凍結融解作用との関係を明らかにするとともに、凍害の新しい劣化予測の手法と設計者が簡便に行える新しい耐久設計手法を提案したものであり、新しい知見および実務において利用可能な成果を得ている。

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) 北海道と新潟県における各地域の凍害劣化の実態調査から凍害劣化におよぼす地域の差、方位の差および部位による差を明らかにしている。この点については従来の研究成果を再確認するものであるが、ここで提案する劣化予測・耐久設計手法のなかで地域条件・部位条件を算定・確認するうえでの重要な役割を果たしている。
- 2) 実験室の促進試験結果におよぼす各種要因の影響を定量化し、これにより自然環境下におけるコンクリートが受ける凍結融解作用のきびしさの新しい表示法を示している。ここでは、ASTM A法による既往の凍結融解促進試験の結果から、コンクリートの凍害劣化に影響を及ぼす環境要因を定量化し、ASTM相当サイクル数を求める実験式を誘導

している。なお、ASTM相当サイクル数とは、最低温度や凍結融解条件等が異なる凍結融解作用を受けた場合、これがASTM A法の何サイクル分に相当するかを表すものである。このASTM相当サイクル数を用いることにより、自然環境下の凍結融解作用のきびしさを表すことができ、全国の気象データを用いて、各都市(地域)のASTM相当サイクル数を試算している。

3) 部位による凍害劣化の異なる理由のひとつとして、部位によるコンクリート温度の違いがあり、各方位・部位のコンクリート温度の予測手法を示している。ここでは、部位条件を考慮した屋外暴露試験を行い、気象因子と各部位のコンクリート温度を測定し、気象データから方位・部位別のコンクリート温度を推定する実験式を誘導している。さらに、得られた実験式に全国各地の気象データをあてはめ、全国各地の方位・部位別のコンクリート温度を算出し、このコンクリート温度から各部位のASTM相当サイクル数を試算している。これにより任意の地域、任意の部位における凍結融解作用のきびしさを表現することを可能としている。

4) ASTM相当サイクル数を用い、促進試験の結果を利用する鉄筋コンクリート造建築物の凍害の劣化予測手法を提案している。この手法は、その部材の受ける凍結融解作用をASTM相当サイクルに換算し、劣化が累積されていくと仮定するものであり、地域、方位、部位、水との接触条件等により部位ごとに劣化を予測でき、促進試験と実際の建築物の劣化を明確に対応させている点で大いに評価できる。また、実態調査の劣化の地域性、劣化部位等の状況との対応および暴露試験との比較からこの劣化予測の手法の有効性を検証している。

5) 劣化予測の結果を発展させ、地域条件のレベル分け等とこれに対応した対策を結び付け、設計者が実際に使用できる簡易な耐久設計手法を提案している。なお、この考え方は日本建築学会標準仕様書(JASS5)にも取り入れられている。さらに、アメダス観測所の気象データと郵便番号区画を対応させ、郵便番号で地域条件を確定できるといったさらに簡易な方法も提案されている。これらの提案は実際の建物の耐久設計技術の進展・普及に大いに貢献するものと評価される。

これを要するに、著者は、実験室における凍結融解促進試験の結果と自然環境下におけるコンクリートが受ける凍結融解作用の関係を明確に対応させ、さらにこれを発展させた鉄筋コンクリート造建築物の新しい凍害劣化予測の手法と耐久設計手法の提案において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あるものと認める。