

学 位 論 文 題 名

寒冷地におけるコンクリート構造物の
耐用年数予測評価に関する研究

学位論文内容の要旨

社会資本としてのコンクリート構造物が増加するに伴い、これらを維持管理する重要性が増し、コンクリート構造物のライフサイクルコストの算定や耐用年数に対する評価が重要になっている。コンクリート構造物を設計、施工及び維持管理する場合、（１）コンクリート構造物が補修、補強なしで供用期間を耐え得るか、（２）劣化を放置すれば性能や安全性はどの程度低下するか、（３）最近、耐久設計が試みられているが、その照査をどのようにするか、といった事が問われるようになった。したがって、劣化を予測し、コンクリート構造物の耐用年数を予測評価する事が要求され、その方法を早急に確立する事が必要とされている。耐用年数予測評価の問題点は（１）コンクリート構造物の耐用年数を左右する劣化現象のパターンが様々であり、その要因が多数で複雑である事、（２）既存構造物の設計資料と施工資料が、現在の段階で保存されているものが少なく、設計施工データと耐用年数との関係の把握が困難な事、（３）点検データが有効に活用されていない事、（４）維持管理を行う技術が十分確立されていなく、またその技術者の不足等が深刻となっている事、（５）現在のコンクリート構造物の耐久性評価のレベルは国内、海外とも発展途上にあり、現場で要求されている十分なレベルとはかなり隔たりがある事等である。

本研究の目的は、主に寒冷地のコンクリート構造物（以下 RC 構造物）の設計の際に、劣化を予測し、耐用年数予測評価を行う手法を明らかにする事である。構成は、RC 構造物の劣化のパターンと要因の検討、耐用年数予測評価法の開発、及び予測評価の信頼性の向上の検討と試設計モデルによるケーススタディとからなっている。

第 1 章では、本研究の背景と目的を述べるとともに、RC 構造物の耐久性に関する既往の研究と概念を調査し、さらに、本研究の範囲を述べた。

第 2 章では、寒冷地の RC 構造物の劣化のパターンと耐久性の要因に関して、各種構造物と各種環境下の多数の RC 構造物の劣化状況の調査、寒冷地海洋環境下及び各種環境下の曝露実験、RC 部材の促進試験用のモデル化供試体による実験結果等をもとに検討を行った。その結果、

耐用年数を予測評価する際の劣化の評価項目となる劣化パターンの分類、劣化のモデル化に必要な劣化要因の分類を以下のように提案した。(1)劣化のパターンを、中性化、鉄筋腐食、コンクリートの強度低下、凍害、表面劣化、ひびわれ、変形に大分類した。劣化とは、構造物に生じる経年変化の中で構造物の性能の低下を伴うものである。劣化限界は、劣化により RC 構造物に、要求される最低限の性能が維持できなくなる限界である。設計時に要求される最低限の性能が維持できるための劣化限界を許容劣化限界とする。これが劣化のグレーディングの際の基準となる。(2)劣化の要因は外的要因と内的要因に分けられる。外的要因は環境条件や気象条件等からなり、この中で影響が大きく、定量化の必要がある劣化外力がある。内的要因は、設計、材料、施工条件にかかわり、人為的に制御できるものである。

第3章では、主に寒冷地の RC 構造物の設計時に、劣化予測及び耐用年数予測評価を可能とする方法の開発を行った。まず、寒冷地の RC 構造物の耐用年数の予測評価法に必要な以下の劣化予測規準の検討を行った。劣化予測水準は、構造物や各部位と部材の重要度と要求される予測精度によって考慮しなければならないため、一般的な水準(劣化予測水準1)および重要でかつ高い安全性が要求され維持管理が困難な構造物や各部位と部材に適応する水準(劣化予測水準2)に分けられるが、本研究では劣化予測水準1について検討した。次に、劣化予測をするために、以下の項目の検討を行った。(1)耐久性の予測評価項目と劣化指標の選定、(2)予測評価法フロー、(3)予測評価のための既往の研究及び実験データの整理と解析、(4)予測評価のための劣化予測式、(5)劣化のグレーディング、(6)劣化の予測評価項目の重み付け、これらによって、予測評価法を作成し、実構造物への劣化予測評価の適用の方法を明らかにした。

第4章では、本予測評価法と曝露実験や実構造物調査結果との照査を行った結果、信頼性をさらに向上させるためには、環境別に的確な係数を選定する必要がある、このためには多くのデータの蓄積が必要である事を明らかにした。

また、耐用年数予測評価法の適用例として、試設計モデルによる予測評価法のケーススタディーを行った。検討の対象は、耐用年数を長期にとる必要のある廃棄物貯蔵用半地下ピットを想定し、予測評価対象モデルを試設計した。検討方法は、この試設計モデルが要求される機能を維持する上で重要な部位や部材を抽出し、3章の予測評価法を用いて、劣化の経年変化の予測評価を行った。検討のケースは、(1)劣化の内的要因から、水セメント比とかぶりを抽出し、これを変動させた場合、(2)総合劣化度の重み係数を変動させた場合の2ケースである。なお、試設計モデルに要求される性能として「耐荷重性」及び「水密性」に着目し、これらの性能の低下につながる各評価項目を関連樹木の形に整理して重み係数を算定した。シミュレーションの結

果、内的要因の内の水セメント比とかぶりの取り方が、中性化、鉄筋腐食等の劣化の経年変化に大きな影響を与え、その取り方によっては、中性化深さで数倍程度、鉄筋腐食の発生の時期も倍程度の差が生じる事が明らかになった。また、総合劣化度も施工後50年で2割程度の違いがある事が明らかになった。

さらに、耐用年数予測評価法の実用化のために、人口知能とデータベースを取り入れた総合耐用年数予測評価システム構築の方法を提案した。

以上の、寒冷地における RC 構造物の耐用年数予測評価法の開発とその基礎的な研究から、寒冷地の RC 構造物の環境条件等の外的要因に対して、設計、施工データの内的要因から、劣化の経年変化を数値的に予測し、この結果を基にその外的条件下で適切な内的要因のパラメータを設定する手法を提案した。シミュレーションにより、RC 構造物に要求される耐用年数までの劣化を予測し、耐用年数予測評価する事を可能とした。最適な耐久性を考慮した設計の照査や、適切な補修時期を判断する際の必要な工学的な根拠となる技術的情報を得る事を可能にして、寒冷地における RC 構造物の耐用年数予測評価が可能である事を明らかにした。

第5章に研究の総括と、今後の課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	藤田	嘉夫
副査	教授	角田	與史雄
副査	教授	佐伯	昇
副査	教授	鎌田	英治

社会資本としてのコンクリート構造物の増加に伴い、維持管理の重要性が高まり、その耐久性を的確に評価するための方法確立に対する要望が高まっている。

本論文は、寒冷地の RC 構造物を対象として、実構造物の調査、曝露実験及び促進試験を行って劣化のパターンと要因を詳細に検討し、その結果に基づいて耐用年数予測評価法を構築したもので、5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的、RC 構造物に関する既往の研究及び本研究の範囲について述べている。

第2章では、各環境下における多数の RC 実構造物の劣化状況の調査、寒冷地海洋環境下及

び各種環境下の曝露実験，促進試験用モデル供試体による実験結果を詳細に検討している。その結果，耐用年数を予測評価する際，劣化の評価項目となる劣化パターンを，中性化，鉄筋腐食，コンクリートの強度低下，凍害，表面劣化等の材料的なもの，ひびわれ，変形等の主に構造的なものに大分類し，また劣化のモデル化に必要な劣化要因を，環境条件や気象条件等の外的要因と設計，材料，施工条件等制御可能な内的要因に分類することを提案している。

第3章では，まずRC構造物の耐用年数予測評価のための劣化予測の規準について，構造物に要求される性能の明確化，耐用年数の設定，劣化パターンと劣化要因の分類，劣化の予測評価項目と劣化指標の選定，予測評価法のフロー，予測評価のための既往の研究及び実験結果の整理，劣化予測式の構築，劣化のグレーディング，劣化の予測評価項目の重み付け，劣化予測水準，許容劣化限界の設定等の各項目に対し，規準作成の基本的考え方について考察している。

次に，劣化予測の水準として，一般的な水準と重要で高い安全性が要求され，維持管理が困難な構造物や部位，部材に適用する水準の二つの水準のうち，本研究では一般的な水準を取り上げて各項目について検討している。その結果，環境条件など構造物の外的要因に対応する劣化評価項目に対して影響の大きい，適切な内的要因をそれぞれ設定する合理的な劣化予測評価法を構築し，実構造物の耐用年数予測評価を可能にしている。この成果は耐久性を考慮した設計の照査や，適切な補修時期を判断する工学的根拠を与えるもので，評価に値する。

第4章では，本予測評価法と曝露実験及び実構造物調査結果との照査を行い，その結果予測精度をさらに向上させるためには，環境条件に対応した的確な係数を選定するため，多くのデータを蓄積することが必要であると指摘している。

また，耐用年数予測評価法の適用例として，廃棄物貯蔵用半地下ピットを想定した試設計モデルによるケーススタディーを行っている。要求される性能としては耐荷重性と水密性に着目し，劣化の内的要因のうち水セメント比とかぶりを変動させた場合及び総合劣化度の重み係数を変動させた場合の2ケースについて検討している。その結果，内的要因のうち水セメント比とかぶりは，中性化，鉄筋腐食等の劣化の経年変化に大きな影響を与え，中性化深さで数倍程度，鉄筋腐食の発生時期で2倍程度の差が生じること，また総合劣化度も施工後50年で2割程度の差が出ることなど，内的要因によって劣化の経年変化が変動する様子を具体的に提示している。

さらに，実用化のために，人工知能とデータベースを取入れた耐用年数予測評価システムの構築方法を提案している。

第5章は，研究の総括と今後の課題について述べている。

これを要するに，本論文は寒冷地におけるRC構造物の耐用年数予測評価法を構築，提案し

たもので、RC 構造物の設計、施工及び維持・管理面で有用な多くの知見を与えており、コンクリート工学の進展に寄与するところ大である。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。